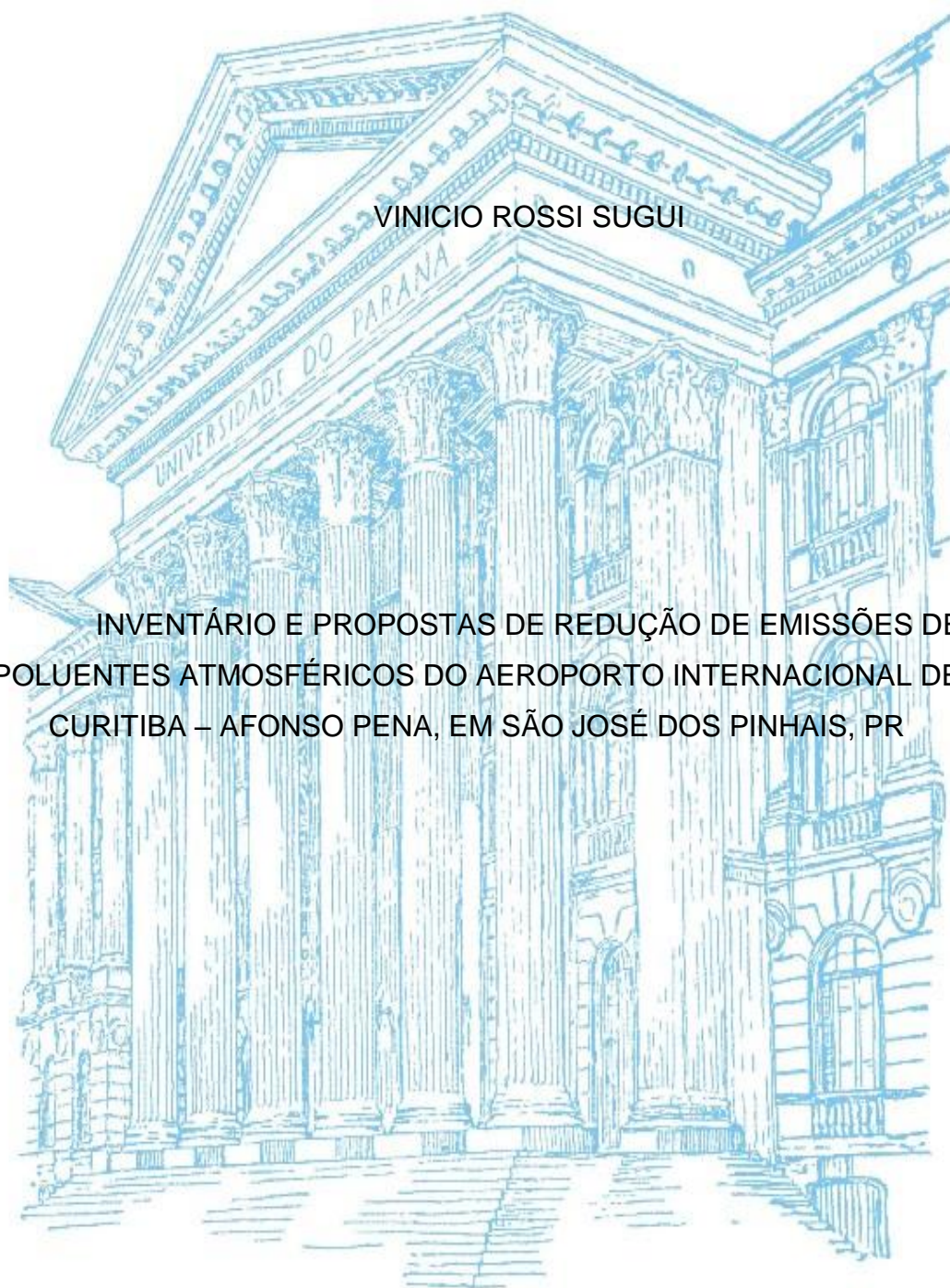


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

VINICIO ROSSI SUGUI

INVENTÁRIO E PROPOSTAS DE REDUÇÃO DE EMISSÕES DE
POLUENTES ATMOSFÉRICOS DO AEROPORTO INTERNACIONAL DE
CURITIBA – AFONSO PENA, EM SÃO JOSÉ DOS PINHAIS, PR



CURITIBA

2016

VINICIO ROSSI SUGUI

INVENTÁRIO E PROPOSTAS DE REDUÇÃO DE EMISSÕES DE
POLUENTES ATMOSFÉRICOS DO AEROPORTO INTERNACIONAL DE
CURITIBA – AFONSO PENA, EM SÃO JOSÉ DOS PINHAIS, PR

Dissertação apresentada como requisito
parcial à obtenção do grau de Mestre em
Meio Ambiente Urbano e Industrial, pela
Universidade Federal do Paraná

Orientador: Prof. Dr. Andreas Grauer

Co-orientador: Prof. Me. Mauricy Kawano

CURITIBA

2016

TERMO DE APROVAÇÃO

VINICIO ROSSI SUGUI

INVENTÁRIO E PROPOSTAS DE REDUÇÃO DE EMISSÕES DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS DO AEROPORTO INTERNACIONAL DE CURITIBA – AFONSO PENA, EM SÃO JOSÉ DOS PINHAIS, PR

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Programa de Mestrado Profissional em Meio Ambiente Urbano e Industrial, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná em parceria com SENAI/PR e a *Universität Stuttgart*, Alemanha, pela seguinte banca examinadora:



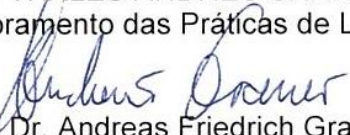
Prof^a. Dr^a. PATRÍCIA CHARVET
PPGMAUI/SENAI-PR



Prof. Dr. PAULO DE TARSO DE LARA PIRES
PPGMAUI/UFPR



Dr. THALES ANDRES CARRA
CETESB/Setor de Aprimoramento das Práticas de Licenciamento Ambiental



Prof. Dr. Andreas Friedrich Grauer
PPGMAUI



Prof^a. Dr^a. MARGARETE CASAGRANDE LASS ERBE
Coordenadora do PPGMAUI/TC/UFPR

Curitiba, 15 de julho de 2016.

Dedico esse trabalho a minha esposa e minha família.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Prof. Dr. Andreas Friedrich Grauer pelo conhecimento transferido e dedicação na orientação, que possibilitou a realização da dissertação de forma a contribuir com o conhecimento científico.

Ao Prof. Me. Mauricy Kawano pelo apoio e presteza durante o desenvolvimento do trabalho.

Aos professores que colaboraram com seus conhecimentos para o bom andamento da pesquisa.

Ao Programa de Mestrado Programa de Mestrado Profissional em Meio Ambiente Urbano e Industrial, Universidade Federal do Paraná, SENAI-PR e Universidade de Stuttgart pela oportunidade de aprendizado em um curso de excelência.

À INFRAERO pela oportunidade de desenvolvimento do trabalho de relevância ao setor aeroportuário, contribuindo para melhoria contínua de seus programas ambientais.

RESUMO

A poluição atmosférica é responsável por diversos problemas de saúde pública, ambientais e econômicos. Dentre as fontes de poluição antropogênicas, citam-se as atividades aeroportuárias, tais como a operação das aeronaves, equipamentos de suporte em solo, terminal de passageiros e tráfego de veículos. Nas últimas décadas o setor da aviação civil cresceu, aumentando o movimento nos aeroportos do Brasil, tal qual o Aeroporto Internacional de Curitiba – Afonso Pena em São José dos Pinhais, o principal do Estado do Paraná e um dos mais movimentados do país. Medidas como a redução no tempo médio de taxiamento das aeronaves e a disponibilização de energia elétrica e ar condicionado nas pontes de embarque possuem potencial para diminuir as contribuições de poluentes do aeroporto. O presente trabalho teve por objetivo realizar um inventário dos poluentes atmosféricos dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), material particulado (MP_{10}), óxidos de nitrogênio (NO_x), óxidos de enxofre (SO_x) e compostos orgânicos voláteis (COV), bem como avaliar as propostas de redução de emissões de poluentes atmosféricos do Aeroporto Afonso Pena. O inventário foi realizado utilizando o software EDMS e constatou que as emissões do aeroporto são pouco significativas quando comparadas a toda Região Metropolitana de Curitiba, porém ocorrem de forma concentrada em uma área menor. Quando comparado a alguns aeroportos em outros países e ao panorama brasileiro, o Aeroporto Afonso Pena apresenta índices de emissão por aeronave e por passageiro menores que a média devido a suas características operacionais, como pequena quantidade de voos internacionais e menores trajetos de taxiamento. As principais fontes do aeroporto são as operações das aeronaves, sendo o taxiamento a fase responsável pela maior parte das emissões de monóxido de carbono e compostos orgânicos voláteis. A implantação de duas novas pistas de taxiamento pode contribuir significativamente na redução de emissão de tais poluentes atmosféricos no Aeroporto Afonso Pena. Os equipamentos de suporte em solo são importantes fontes de material particulado e a implantação de um sistema de fornecimento de energia elétrica e ar condicionado nas pontes de embarque, com consequente cessação do uso de GPUs e ACUs, resultaria em uma redução significativa desse poluente. A implantação das medidas propostas resultaria em uma redução total de aproximadamente 23% de material particulado, 10% de monóxido de carbono e compostos orgânicos voláteis, bem como 6% dos óxidos de nitrogênio. Um programa de gerenciamento de poluição, com o envolvimento de todas as partes interessadas, é uma importante ferramenta para reduzir as emissões do aeroporto.

Palavras-chave: Aviação. Poluição do ar. Inventário de emissões. Pista de taxiamento. Utilidades fixas.

ABSTRACT

Air pollution is responsible for several human health, environmental and economical problems. The airport activities are sources of anthropogenic pollution, such as the aircrafts operation, ground support equipment, passenger terminal, and vehicle traffic. In recent decades the civil aviation sector has grown, increasing the movement in Brazilian's airports, as the Curitiba International Airport - Afonso Pena in São José dos Pinhais, the main airport of the State of Paraná and one of the busiest in the country. Measures such as the reduction in the average time of taxiing aircraft and the electricity and air conditioning provision on the gates have the potential to decrease airport pollutants contributions. These study's objectives are to execute an inventory of the air pollutants carbon dioxide (CO₂), carbon monoxide (CO), particulate matter (PM₁₀), nitrogen oxides (NO_x), sulfur oxides (SO_x) and volatile organic compounds (VOC), and propose measures for reducing air pollutant emissions from Afonso Pena Airport. The inventory was executed using EDMS software and shows that the airport emissions are negligible when compared to the entire metropolitan region of Curitiba, but occur in concentrated form in a smaller area. When compared to some airports in Brazil and other countries, the Afonso Pena Airport presents emission rates per aircraft and per passenger lower than the average due to its operating characteristics, as a small number of international flights and shorter paths of taxiing. The main airport sources are aircraft operations, and the taxiing phase is responsible for most of the carbon monoxide and volatile organic compounds emissions. The construction of two new taxiways can significantly contribute to the pollutants emissions reduction in Afonso Pena Airport. The ground support equipments are major sources of particulate matter and the application of an electricity supply and air conditioning system in gates, with consequent cessation of the GPUs and ACUs use would result in a significant reduction of these pollutants. The application of the proposed measures would result in a total reduction of approximately 23% of particulate matter, 10% carbon monoxide and volatile organic compounds, and 6% of nitrogen oxides. A pollution management program, with the involvement of all stakeholders, is an important tool for reducing airport emissions.

Key-words: Aviation. Air pollution. Emissions inventory. Taxiway. Fixed facilities.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – CICLO DE POUSO E DECOLAGEM	36
FIGURA 2 – GPU A DIESEL.....	50
FIGURA 3 – ACU A DIESEL	51
FIGURA 4 – EXEMPLO CONVERSOR DE FREQUÊNCIA PARA 400HZ....	52
FIGURA 5 – EXEMPLO DE USO DE UNIDADE DE AR CONDICIONADO ELÉTRICO.....	52
FIGURA 6 – CONFIGURAÇÃO DO AEROPORTO AFONSO PENA.....	59
FIGURA 7 – INTERFACE DO SOFTWARE EDMS PARA INSERÇÃO DOS PÁTIOS DE EMBARQUE E DESEMBARQUE.....	60
FIGURA 8 – LOCALIZAÇÃO DAS PISTAS DE TAXIAMENTO.....	61
FIGURA 9 – INTERFACE DO SOFTWARE EDMS PARA INSERÇÃO DAS PISTAS DE TAXIAMENTO.....	62
FIGURA 10 – INTERFACE DO SOFTWARE EDMS PARA INSERÇÃO DAS PISTAS DE POUSO E DECOLAGEM.....	63
FIGURA 11 – CONFIGURAÇÃO DO AEROPORTO AFONSO PENA INSERIDA NO SOFTWARE EDMS.....	64
FIGURA 12 – INTERFACE DO SOFTWARE EDMS PARA INSERÇÃO DAS ROTAS DE TAXIAMENTO.....	65
FIGURA 13 – INTERFACE DO SOFTWARE EDMS PARA INSERÇÃO DAS AERONAVES.....	66
FIGURA 14 – UTILIZAÇÃO DE GPU E ACU A DIESEL NO AEROPORTO AFONSO PENA.....	69
FIGURA 15 – PONTES DE EMBARQUE INSTALADAS EM 2015 COM INFRAESTRUTURA PARA RECEBER O CONVERSOR DE FREQUÊNCIA NO AEROPORTO AFONSO PENA.....	70
FIGURA 16 – TRAJETO DE TAXIAMENTO ATUAL PARA DECOLAGEM NA CABECEIRA 15.....	71

FIGURA 17 – TRAJETO DE TAXIAMENTO PROPOSTO COM A PISTA DE TAXIAMENTO K PARA DECOLAGEM NA CABECEIRA 15.....	72
FIGURA 18 – TRAJETO DE TAXIAMENTO ATUAL APÓS POUSO PELA CABECEIRA 15.....	73
FIGURA 19 – TRAJETO DE TAXIAMENTO PROPOSTO COM A PISTA DE TAXIAMENTO K APÓS POUSO PELA CABECEIRA 15....	74

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – PADRÕES DE QUALIDADE DO AR NO ESTADO DO PARANÁ.....	30
TABELA 2 – EMISSÕES DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA.....	32
TABELA 3 – EMISSÕES DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS NO AEROPORTO DE ISTAMBUL EM 2001.....	40
TABELA 4 – TABELA 4 – EMISSÕES DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS NO AEROPORTO DE DENVER EM 2015.....	41
TABELA 5 – EMISSÕES DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS NO AEROPORTO DE ZURIQUE EM 2008.....	42
TABELA 6 – EMISSÕES DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS NO AEROPORTO DE MILÃO EM 2005	42
TABELA 7 – EMISSÕES DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS NO AEROPORTO DE ATLANTA EM 2000	43
TABELA 8 – EMISSÕES DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS NA REGIÃO DE HONG KONG EM 2013.....	44
TABELA 9 – EMISSÕES DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS NO AEROPORTO DE HONG KONG EM 2013 E COMPARAÇÃO COM A MOVIMENTAÇÃO DE 2014.....	45
TABELA 10 – EMISSÕES DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS NOS 20 AEROPORTOS MAIS MOVIMENTADOS DO REINO UNIDO EM 2005	45
TABELA 11 – EMISSÕES DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS PELA AVIAÇÃO CIVIL NO BRASIL EM 2013.....	46
TABELA 12 – REDUÇÃO DAS EMISSÕES NO AEROPORTO DE ZURIQUE COM A DIMINUIÇÃO DO TEMPO MÉDIO DE TAXIAMENTO EM 1 MINUTO.....	54
TABELA 13 – PORCENTAGEM DE USO DAS CABECEIRAS DO AEROPORTO AFONSO PENA EM 2015.....	78

TABELA 14 – EMISSÕES NO AEROPORTO AFONSO PENA EM 2015.....	84
TABELA 15 – EMISSÕES DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA.....	85
TABELA 16 – EMISSÕES DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA POR KM² DE OCUPAÇÃO DAS FONTES.....	85
TABELA 17 – EMISSÕES DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS NO AEROPORTO AFONSO PENA POR PASSAGEIRO E POR AERONAVE.....	87
TABELA 18 – EMISSÕES DE POLUENTES POR AERONAVES EM DIFERENTES AEROPORTOS.....	87
TABELA 19 – EMISSÕES ANUAIS DE POLUENTES POR AERONAVES NO AEROPORTO AFONSO PENA E A MÉDIA DE DIFERENTES AEROPORTOS.....	88
TABELA 20 – EMISSÕES POR PASSAGEIRO EM DIFERENTES AEROPORTOS.....	90
TABELA 21 – EMISSÕES ANUAIS DE POLUENTES POR PASSAGEIROS NO AEROPORTO AFONSO PENA E A MÉDIA DE DIFERENTES AEROPORTOS.....	90
TABELA 22 – EMISSÕES ANUAIS DE POLUENTES POR PASSAGEIRO NO BRASIL E NO AEROPORTO AFONSO PENA.....	91
TABELA 23 – EMISSÕES ANUAIS DE POLUENTES POR AERONAVE NO BRASIL E NO AEROPORTO AFONSO PENA.....	91
TABELA 24 – PORCENTAGENS DE EMISSÕES NO AEROPORTO AFONSO PENA EM 2015.....	93
TABELA 25 – EMISSÕES NO AEROPORTO AFONSO PENA NAS DIFERENTES FASES DE VOO DAS AERONAVES.....	94
TABELA 26 – PORCENTAGENS DE EMISSÕES NO AEROPORTO AFONSO PENA PELAS AERONAVES NAS FASES DE TAXIAMENTO E DEMAIS.....	94

TABELA 27 – REDUÇÃO DE EMISSÕES DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS DE GSEs COM A IMPLANTAÇÃO DO CENÁRIO 1.....	96
TABELA 28 – REDUÇÃO DE EMISSÕES DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS PARA CADA MINUTO A MENOS NO TAXIAMENTO NO AEROPORTO AFONSO PENA.....	97
TABELA 29 – REDUÇÃO NO TEMPO DE TAXIAMENTO COM A IMPLANTAÇÃO DA PISTA J	98
TABELA 30 – REDUÇÃO NO TEMPO DE TAXIAMENTO COM A IMPLANTAÇÃO DA PISTA K	98
TABELA 31 – REDUÇÃO DE EMISSÕES DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS DE AERONAVES NAS DIFERENTES FASES DE TAXIAMENTO COM A IMPLANTAÇÃO DO CENÁRIO 2.....	96
TABELA 32 – REDUÇÃO DE EMISSÕES DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS DE AERONAVES NAS FASES DE TAXIAMENTO COM A IMPLANTAÇÃO DO CENÁRIO 2.....	99
TABELA 33 – REDUÇÃO DE EMISSÕES DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS COM A IMPLANTAÇÃO DOS CENÁRIOS 1 E 2.....	100
TABELA 34 – LISTA DE AERONAVES NO AEROPORTO AFONSO PENA EM 2015.....	117

LISTA DE SIGLAS

ACI	- Conselho Internacional de Aeroportos
ACU	- Unidade de Ar Condicionado
ANAC	- Agência Nacional da Aviação Civil
APU	- Unidade de Energia Auxiliar
CETESB	- Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CFC	- Clorofluorcarbono
CO	- Monóxido de Carbono
CO ₂	- Dióxido de Carbono
CONAMA	- Conselho Nacional de Meio Ambiente
COV	- Composto Orgânico Volátil
SEMA	- Secretaria Estadual de Meio Ambiente
EDMS	- Sistema de Modelagem de Emissões e Dispersão
FAA	- Administração da Aviação Federal
FAB	- Força Aérea Brasileira
GEE	- Gases do Efeito Estufa
GPU	- Unidade de Energia de Solo
GSE	- Equipamento de Suporte de Solo
HC	- Hidrocarboneto
INFRAERO	- Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária
IAP	- Instituto Ambiental do Paraná
IPCC	- Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
LTO	- Pouso e Decolagem
MP	- Material Particulado
NO _x	- Óxidos de Nitrogênio
O ₃	- Ozônio
OACI	- Organização da Aviação Civil Internacional
OMS	- Organização Mundial da Saúde
ONU	- Organização das Nações Unidas
PROCONVE	- Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores

PRONAR	- Programa Nacional da Qualidade do Ar
SAC	- Secretaria da Aviação Civil
SMAP	- Sistema de Movimentação de Aeronaves no Pátio
SO _x	- Óxidos de Enxofre
VARIG	- Viação Aérea Rio Grandense
UNEP	- Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
USEPA	- Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	16
1.1	OBJETIVO GERAL	19
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
2	REVISÃO DA LITERATURA.....	20
2.1	POLUENTES ATMOSFÉRICOS	20
2.1.1	Óxidos de Enxofre (SO _x).....	21
2.1.2	Óxidos de Nitrogênio (NO _x).....	22
2.1.3	Monóxido de Carbono (CO)	22
2.1.4	Material Particulado (MP)	23
2.1.5	Compostos Orgânicos Voláteis (COV)	24
2.1.6	Dióxido de Carbono (CO ₂).....	24
2.2	GESTÃO DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA	26
2.2.1	Normatização da Gestão da Poluição Atmosférica	27
2.2.2	Gestão da Poluição Atmosférica no Estado do Paraná.....	29
2.3	ATIVIDADE AEROPORTUÁRIA	32
2.3.1	Emissões de Poluentes Atmosféricos em Aeroportos	34
2.3.2	Fontes de Emissão em Aeroportos	35
2.3.2.1	Emissões de aeronaves	36
2.3.2.2	Auxílio às aeronaves	37
2.3.2.3	Fontes estacionárias	38
2.3.2.4	Tráfego externo	39
2.3.3	Estudos e Inventários de Emissões em Aeroportos	39
2.3.4	EDMS	47
2.3.5	Medidas de Redução.....	49

2.3.5.1 Ponto fixo de fornecimento de energia elétrica	49
2.3.5.2 Adequações no taxiamento	53
2.4 AEROPORTO AFONSO PENA.....	55
3 MATERIAIS E MÉTODO	57
3.1 LEVANTAMENTO DE CAMPO	57
3.2 INVENTÁRIO	57
3.2.1 Configuração do Aeroporto	58
3.2.1.1 Pátios de embarque e desembarque	58
3.2.1.2 Pistas de taxiamento	60
3.2.1.3 Pistas de pouso e decolagem	62
3.2.1.4 Rotas de taxiamento.....	64
3.2.1.5 Configuração	65
3.2.1.6 Perfil de quarto de hora	65
3.2.2 Operação de Aeronaves.....	66
3.2.3 GSEs	67
3.3 PROPOSTAS DE REDUÇÃO	68
3.3.1 Cenário 1: Fornecimento de Energia Elétrica nas Pontes de Embarque	68
3.3.2 Cenário 2: Adequações no Sistema de Pistas de Taxiamento.....	71
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	78
4.1 INVENTÁRIO	78
4.2 PROPOSTAS DE REDUÇÃO	95
5 CONCLUSÃO.....	105
REFERÊNCIAS.....	108
APÊNDICE.....	116

1 INTRODUÇÃO

Os problemas de poluição atmosférica relacionados às aglomerações humanas são antigos, desde o início do uso do carvão como combustível nas cidades. Entretanto, foi só durante a revolução industrial na Inglaterra que a humanidade começou a se preocupar com o controle à poluição (BÖHM *et al.*, 2001, p. 58 - 71).

A revolução industrial tornou o problema mais visível por conta da intensificação das emissões no século XVIII. Devido ao aumento da atividade industrial no século XX foram constatados episódios catastróficos de poluição do ar, como na Pensilvânia em 1948 que provocou 20 mortes e 5.000 enfermidades, bem como o ocorrido em Londres em 1952 que matou 4.000 pessoas em um período de apenas sete dias (BOTKIN & KELLER 2011, p. 510-511).

Outros eventos que aconteceram em Londres nos anos de 1956, 1957 e 1962 mataram ao todo 2.500 pessoas e em 1963 houve a morte de 300 pessoas em Nova York devido a problemas causados pela poluição do ar. Em algumas cidades grandes do mundo, como São Paulo, Los Angeles e Cidade do México, são conhecidos eventos críticos atribuídos aos gases emitidos por veículos (BRAGA *et al.*, 2005). Além dos eventos pontuais, a exposição crônica aos poluentes atmosféricos continua a ser a causa de doenças em todo o mundo.

Na atualidade, um exemplo de um sério problema ambiental causado pela poluição atmosférica é a situação da China, onde o uso de combustíveis fósseis aumentou dramaticamente em poucas décadas, o que degradou a qualidade do ar de forma a causar uma taxa de mortalidade associada de 1,3 milhões de pessoas por ano e a contribuir significativamente com as mudanças climáticas (SPRACKLEN, 2016). A ocorrência de eventos de degradação aguda da qualidade do ar no país é recorrente e o governo vem investido em ações para mitigar o problema.

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS) a poluição do atmosférica é o maior risco ambiental à saúde humana e a sua redução contribui a diminuir a ocorrência de doenças como as do coração, respiratórias, derrames, câncer de pulmão, entre outras. Estima-se que em 2012 a poluição atmosférica ambiental foi a causa da morte prematura de 3,7 milhões de pessoas no mundo (OMS, 2016).

Miraglia e Gouveia (2014) estimaram o impacto econômico de eventos de saúde associados com a poluição atmosférica em 29 regiões metropolitanas brasileiras, incluindo a de Curitiba. A pesquisa teve como conclusão que a mortalidade atribuível às concentrações de material particulado (MP) nas referidas regiões totalizou 20.050 óbitos em um período de um ano, o que resultou em um custo de 1,7 bilhões de dólares decorrentes dos anos de vida perdidos com os óbitos e o tempo vivido em condições de saúde não condizentes às ideais devido a desfechos como doenças, lesões ou a fatores de risco.

O custo da poluição não se limita apenas à saúde humana, mas também pode gerar outros impactos econômicos, como por exemplo, a degradação de edificações e automóveis devido à corrosão relacionada às emissões de dióxido de enxofre (SO₂) e danos a colheitas (ROSENDAHL, 1998).

Além dos problemas diretos relacionados à saúde humana, meio ambiente e à economia, a emissão de poluentes atmosféricos causa efeitos negativos globais relacionados às mudanças climáticas e à degradação da camada de ozônio.

Segundo Vallero (2008) as fontes dos poluentes atmosféricos são inúmeras, podendo ser classificadas como naturais ou antropogênicas. São fontes naturais as erupções vulcânicas, incêndios florestais não causados pelo homem, tempestades de areia e até mesmo os oceanos que emitem aerossóis corrosivos e a flora que é a maior emissora de hidrocarbonetos do planeta.

As fontes antropogênicas de poluição são relacionadas às atividades industriais, serviços de utilidades, como fornecimento de energia elétrica e tratamento de resíduos, e de caráter pessoal, tais como transporte e recreação (VALLERO, 2008).

Uma fonte de poluição antropogênica relacionada aos transportes é a aviação e a infraestrutura necessária para a atividade. Segundo a Organização da Aviação Civil Internacional (OACI, 2011), os aeroportos estão relacionados a fontes de emissões de poluentes atmosféricos capazes de causar a degradação da qualidade do ar das suas vizinhanças. Dentre as possíveis fontes de emissões, citam-se as próprias aeronaves, as atividades relacionadas aos terminais de passageiros, os equipamentos de auxílio em solo e o tráfego de veículos.

Em muitas grandes cidades do mundo as emissões de automóveis, usinas de energia, refinarias e de outras fontes tendem a diminuir com regulamentação e tecnologia, tornando as emissões das operações de aeronaves mais significativas

para a poluição do ar das vizinhanças dos aeroportos, caso as ações de redução nesse setor não sejam aplicadas de forma proporcional (YU et. al., 2004).

O setor da aviação civil cresceu consideravelmente nos últimos anos no Brasil. Conforme as estatísticas da Agência de Aviação Civil – ANAC (2014a), a demanda de transporte aéreo doméstico mais que triplicou entre os anos de 2004 e 2013, de forma que o setor cresceu 3,7 vezes mais que o produto interno bruto do país.

O Aeroporto Internacional de Curitiba – Afonso Pena, conhecido como Aeroporto Afonso Pena, localizado no município de São José dos Pinhais – PR, região metropolitana de Curitiba, movimentou no ano de 2015 um total de 75.723 operações de pousos e decolagens de aeronaves, transportando mais de sete milhões de passageiros. Em 2006 a movimentação foi de 56.934 operações de pousos e decolagem e aproximadamente 3,5 milhões de passageiros (INFRAERO, 2016a).

O Aeroporto Afonso Pena é o principal do estado do Paraná e um dos mais movimentados do Brasil. Atualmente o aeroporto passa por obras de ampliação que incluem novas posições para estacionamento de aeronaves e maior área de terminal de passageiros, de forma a aumentar sua capacidade de operação.

Considerando as fontes de emissão de poluentes atmosféricos associadas à atividade aeroportuária, a realização de um inventário das emissões de poluentes atmosféricos do empreendimento é um importante instrumento para o estabelecimento de estratégias e propostas de medidas de redução.

Dentre as medidas de redução de emissões viáveis, há a possibilidade de instalação de sistema fixo de fornecimento de energia elétrica e ar condicionado às aeronaves nas pontes de embarque, o que evita o uso de equipamentos a diesel durante as operações de embarque e desembarque como as unidades de energia de solo (*ground power unit* – GPU) e as unidades de ar condicionado (*air conditioning unit* – ACU).

Outra proposta para a redução de poluentes é a adequação da configuração do aeroporto com a implantação de novas pistas de taxiamento, que reduziria o tempo dessa etapa do ciclo de pouso e decolagem das aeronaves e a consequente redução de emissões atmosféricas.

1.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar propostas de redução de emissões de poluentes atmosféricos do Aeroporto Internacional de Curitiba – Afonso Pena, em São José dos Pinhais – PR realizando inventário dos poluentes dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), material particulado (MP_{10}), óxidos de nitrogênio (NO_x), óxidos de enxofre (SO_x) e compostos orgânicos voláteis (COV).

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Realizar um inventário de emissões de poluentes atmosféricos relacionadas aos motores principais e auxiliares das aeronaves, bem como os equipamentos de suporte de solo no aeroporto.

Comparar as emissões atmosféricas relacionadas ao aeroporto com o inventário de fontes industriais e de veículos da Região Metropolitana de Curitiba.

Comparar as emissões atmosféricas relacionadas ao Aeroporto Afonso Pena com os aeroportos de Denver, Istambul, Zurique, Milão, Atlanta, Hong Kong e vinte aeroportos do Reino Unido.

Comparar as emissões atmosféricas relacionadas ao Aeroporto Afonso Pena com inventário nacional de emissões atmosféricas da aviação civil.

Avaliar a redução de emissões de poluentes atmosféricos caso seja instalado sistema de fornecimento de energia elétrica e ar condicionado para as aeronaves em pontos fixos nas pontes de embarque no Aeroporto Afonso Pena.

Avaliar a redução de emissões de poluentes atmosféricos caso sejam implantadas as pistas de taxiamento J e K do Aeroporto Afonso Pena.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 POLUENTES ATMOSFÉRICOS

Os poluentes atmosféricos são definidos pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA através da Resolução nº 3 de 1990, conforme segue:

Entende-se como poluente atmosférico qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos, e que tornem ou possam tornar o ar: I - impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde; II - inconveniente ao bem-estar público; III - danoso aos materiais, à fauna e flora; IV - prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade (CONAMA, 1990a).

Dessa forma, para que uma substância seja considerada um poluente atmosférico, basta ter o potencial de causar impactos negativos à saúde pública, patrimônio ou meio ambiente.

Os impactos causados pela poluição atmosférica podem ser de escala global ou local. Dentre os problemas globais citam-se a intensificação do efeito estufa e a destruição da camada de ozônio. A degradação da qualidade do ar, a chuva ácida e o *smog* fotoquímico são considerados impactos locais, os quais causam danos diretos ao meio ambiente e à saúde humana (BRAGA *et al.*, 2005).

Assim, os poluentes atmosféricos devem ser gerenciados considerando as suas fontes, os impactos causados e as medidas de minimização, adotando-se políticas públicas eficientes que considerem os impactos a curto e longo prazo, bem como nas escalas locais e globais.

São exemplos de poluentes atmosféricos que prejudicam a qualidade do ar local os óxidos de enxofre (SO_x), óxidos de nitrogênio (NO_x), monóxido de carbono (CO), ozônio (O₃) e material particulado (MP). Os hidrocarbonetos (HC) e os compostos orgânicos voláteis (COV) também entram nesse grupo por atuarem

diretamente na formação do O_3 . Já os impactos causados por gases como dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e clorofluorcarbonos (CFCs) são de âmbito global.

As descrições dos poluentes atmosféricos abordados neste estudo são apresentadas a seguir.

2.1.1 Óxidos de Enxofre (SO_x)

Os óxidos de enxofre são produzidos a partir do enxofre presente em combustíveis durante sua queima. O enxofre do combustível é emitido para a atmosfera em um processo de combustão na forma de SO_x , composto pelo dióxido de enxofre (SO_2) e em menor quantidade pelo trióxido de enxofre (SO_3). Na natureza, podem ser gerados em processos biogênicos, tanto no solo quanto na água (BRAGA *et al.*, 2005).

O SO_2 é o principal dos SO_x , sendo um gás pungente incolor que causa irritação nas vias respiratórias (USEPA, 1999, p. 2-6). Os principais efeitos do dióxido de enxofre sobre a saúde pública são o aumento de doenças respiratórias crônicas, falta de ar e estreitamento das vias respiratórias nas pessoas com asma (BOTKIN & KELLER, 2011). Segundo a OMS (2016), ocorrências em hospitais de doenças e óbitos por problemas cardíacos aumentam em dias com maiores níveis de SO_2 . Tal poluente pode ainda reagir com outros compostos e formar material particulado (CETESB, 2011).

Na atmosfera o composto pode ser transformado em SO_3 que, na presença de vapor de água, converte-se rapidamente em ácido sulfúrico (H_2SO_4), formando a chuva ácida (CETESB, 2011). A chuva ácida é uma precipitação com o pH abaixo de 5,6, o que afeta adversamente árvores, danifica os ecossistemas lacustres e prejudica patrimônios da sociedade humana (BOTKIN & KELLER, 2011).

No Brasil, os padrões concentração de SO_2 no ar são regulamentados pela Resolução CONAMA 03 de 1990 e no estado do Paraná pela Resolução SEMA 16 de 2014.

2.1.2 Óxidos de Nitrogênio (NO_x)

A principal fonte de óxidos de nitrogênio são os processos de combustão, uma vez que tal reação se dá utilizando o oxigênio presente no ar, meio onde o composto mais abundante é o nitrogênio. Os processos de descargas elétricas na atmosfera são considerados fontes naturais desse composto (BRAGA *et al.*, 2005).

Os óxidos de nitrogênio são importantes gases precursores do ozônio troposférico e da deposição ácida que resultam em danos à saúde humana e aos ecossistemas aquáticos e terrestres, além de poder interagir com outros compostos e formar material particulado (USEPA, 1999, p. 2-6).

A formação do ozônio troposférico se deve à mistura de hidrocarboneto aos gases que compõem os NO_x, ou seja, o monóxido de nitrogênio (NO) e o dióxido de nitrogênio (NO₂), na presença de luz solar (VALLERO, 2008). O ozônio é um potente oxidante que provoca lesões nas células das vias aéreas, sendo considerado assim um poluente secundário (BOHM *et al.*, 2001).

Quando inalado, o NO₂ pode prejudicar os pulmões, causar bronquite e pneumonia, além de diminuir a resistência às infecções respiratórias (CETESB, 2011, p. 24). Não é um gás irritante, mas pode agravar infecções e sintomas respiratórios, causar dor de garganta, tosse, congestão nasal e febre (BOTKIN & KELLER, 2011).

No Brasil, os padrões concentração de NO₂ no ar são regulamentados pela Resolução CONAMA 03 de 1990 e no estado do Paraná pela Resolução SEMA 16 de 2014.

2.1.3 Monóxido de Carbono (CO)

O monóxido de carbono é um composto gerado nos processos de combustão incompleta de combustíveis fósseis e outros materiais que contenham carbono em sua composição (BRAGA *et al.*, 2005).

O poluente é um gás incolor, inodoro e tóxico, tendo como principais fontes de emissão os meios de transportes, incineradores, indústrias, fornos que utilizam madeira como combustível etc. Quando o CO é inalado, entra na corrente sanguínea e reduz bruscamente a demanda de oxigênio para os órgãos e tecidos (USEPA, 1999).

O composto causa dor de cabeça, fadiga, náuseas; prejudica o desempenho de tarefas que requerem concentração; reduz a resistência e pode ser letal por causa da asfixia (BOTKIN & KELLER, 2011).

No Brasil, os padrões concentração de CO no ar são regulamentados pela Resolução CONAMA 03 de 1990 e no estado do Paraná pela Resolução SEMA 16 de 2014.

2.1.4 Material Particulado (MP)

Material particulado não é apenas um poluente, mas uma mistura com partículas de diversos tamanhos e composição química, de origens naturais e antropogênicas. A medição do material particulado inicialmente tendia a ser realizada na forma de partículas totais em suspensão (PTS) e fumaça, porém, passou-se a considerar cada vez mais o MP₁₀, ou seja, as partículas com diâmetro inferior a 10 µm (SENCO, 1999). Quando ferramentas de medição mais precisas estão disponíveis, também são reportadas as quantidades de partículas mais finas na forma de MP_{2,5} (OMS, 2016).

Os compostos que podem compor o MP são sólidos ou líquidos na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça, fuligem, etc. São diversas as fontes de emissão, dentre elas podem ser incluídas as tempestades de areia, queimadas, veículos, geração de energia, caldeiras, fornos, manipulação de materiais agregados (USEPA, 1999; CETESB, 2011).

O MP₁₀ é considerado prejudicial tanto ao trato respiratório inferior quanto superior. As partículas com diâmetro inferior a 2,5 µm (MP_{2,5}) são especialmente significantes para a saúde humana, pois, penetram a fundo no sistema respiratório, podendo inclusive carregar outros poluentes consigo (ROSENDAHL, 1998).

No Brasil, os padrões de concentração de MP_{10} no ar são regulamentados pela Resolução CONAMA 03 de 1990 e no estado do Paraná pela Resolução SEMA 16 de 2014. No estado de São Paulo, além do MP_{10} , também há padrões de qualidade do ar para o $MP_{2,5}$ definidos pelo Decreto Estadual nº 59.113 de 23 de abril de 2013.

2.1.5 Compostos Orgânicos Voláteis (COV)

Os compostos orgânicos voláteis abrangem uma gama de compostos químicos, incluindo hidrocarbonetos (alcanos, alcenos, aromáticos), oxigenados (álcoois, aldeídos, cetonas, éteres) e compostos halogenados. O maior impacto ambiental da emissão dos COVs na atmosfera é seu papel na formação de ozônio troposférico (SENCO, 1999, p. 121).

Além disso, alguns desses compostos são considerados tóxicos para a saúde humana, como o benzeno e o 1,3 butadieno. As principais fontes antrópicas de emissão de COVs são combustão industrial, geração de energia, atividades relacionadas à extração e distribuição de combustíveis fósseis, utilização de solventes e outros produtos, além do setor de transportes (SENCO, 1999, p. 121).

Nos motores de combustão interna, quando a combustão não é completa, há a emissão de compostos orgânicos, incluindo alguns originalmente presentes no combustível (VALLERO, 2008).

2.1.6 Dióxido de Carbono (CO_2)

O dióxido de carbono é o principal composto resultante da combustão completa de combustíveis fósseis e de outros materiais combustíveis que contenham carbono, além de ser gerado no processo de respiração aeróbia dos seres vivos, que utilizam o oxigênio para poder liberar a energia presente nos alimentos que são ingeridos (BRAGA *et al.*, 2005).

O CO₂ é um dos gases do efeito estufa. Esses gases recebem tal denominação por apresentarem a propriedade de reter o calor, da mesma forma que os vidros de um carro fechado ou o revestimento de uma estufa sob a incidência do sol (BNDES, 1999). Ou seja, os gases do efeito estufa presentes na atmosfera permitem grande parte da radiação solar chegar à superfície terrestre, contudo, retêm a radiação infravermelha que retorna da Terra ao espaço.

O efeito estufa é um fenômeno natural, porém são as atividades econômicas e industriais que o intensificam cada dia mais, resultando no aquecimento acentuado do planeta. Os gases de efeito estufa, tanto por fontes antrópicas quanto naturais são os responsáveis pelo fenômeno.

A intensificação do efeito estufa é a grande causadora de mudanças climáticas. Segundo Rocha (2003) as ações decorrentes de atividades humanas têm provocado alterações na biosfera.

O IPCC (2014) apontou que, de acordo com suas pesquisas, existem 95% de certeza que as atividades antrópicas são a principal causa do aquecimento global, o que causa claros impactos para todos os continentes e oceanos. Muitas das mudanças observadas desde os anos 1950 são sem precedentes, o que gera um crescente risco de impactos ambientais graves, generalizados e irreversíveis para as pessoas e ecossistemas.

Dentre os impactos observados pela intensificação do efeito estufa citam-se a alteração de sistemas hidrológicos devido ao derretimento de gelo e neve; mudanças em padrões, atividades sazonais, escalas geográficas, abundância e interação de espécies animais; aumento de mortalidade de árvores devido ao incremento de secas, tempestades de vento, incêndios e surtos de pragas atribuídos à mudança climática (IPCC, 2014).

Eventos extremos também podem ser atribuídos ao aquecimento global, tais como ondas de calor na Europa, Ásia e Austrália; aumento de precipitações fortes na América do Norte e Europa; frequência e magnitude das inundações fluviais em escala global; aumento de ciclones tropicais; ocorrência crescente de incêndios florestais (IPCC, 2014).

2.2 GESTÃO DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

A poluição atmosférica é tema de preocupação em países do mundo inteiro. Dessa forma, são estabelecidas políticas, padrões de qualidade do ar e limites de concentrações de emissões a fim de controlar a poluição atmosférica com uma gestão adequada.

A poluição do ar afeta diretamente o bem-estar da população, principalmente em grandes centros urbanos. Dessa forma, ao longo da história, medidas vêm sendo tomadas para mitigar seus efeitos negativos para a sociedade.

Um dos primeiros relatos de medidas governamentais tomadas para melhoria da qualidade do ar foi observado na Inglaterra no século XIII, quando o Rei Eduardo proibiu o uso de carvão com alto teor de enxofre. No decorrer da história, outros decretos foram estabelecidos, regulamentando principalmente o uso do carvão e posteriormente as indústrias (CAVALCANTI, 2010).

No Brasil, em 1923 foi aprovado o regulamento do Departamento Nacional de Saúde Pública, através do Decreto nº 16.300. Dentre as determinações, ressalta-se o artigo nº 1.045.

Toda industria que fôr nociva ou incommoda á vizinhança pela producção de fumo, ruido, odores, trepidações, etc., só poderá funcctionar em predio isolado, afastado das habitações proximas, a juizo da autoridade sanitária. (BRASIL, 1924).

Contudo, a legislação brasileira pouco se desenvolveu do ponto de vista ambiental nas décadas que se seguiram.

A Conferência de Estocolmo, da qual o Brasil é signatário, organizada pela Organização das Nações Unidas (ONU) em 1972, alertou o mundo a cerca dos problemas ambientais, possuindo grande importância para as ações que se seguiram. Convencionou-se o dever do Estado na criação de leis e normas para a preservação e o melhoramento do meio ambiente humano, e os deveres de todos sobre a garantia da sua efetiva aplicação (COSTA *et al.*, 2015).

A gestão atmosférica evoluiu em conjunto com o crescimento da preocupação com os problemas ambientais desencadeada pela Convenção de

Estocolmo e posteriormente amplamente discutidos. Como instrumentos da gestão da poluição atmosférica, foram desenvolvidos programas, leis, normas e estabelecidos padrões de qualidade do ar e de emissões de poluentes.

2.2.1 Normatização da Gestão da Poluição Atmosférica

Em diversos países do mundo a gestão da poluição atmosférica é objeto de regulamentação, tendo como o estabelecimento de padrões de qualidade de ar um dos principais focos. O QUADRO 1 apresenta os principais documentos normativos sobre o tema no mundo.

Nação / Organização	Documento
Organização Mundial da Saúde	Orientações de qualidade do ar da OMS
União Europeia	Diretiva de Trabalho da Qualidade do Ar 2008/50/CE
Austrália	Medida Nacional de Proteção Ambiental para Qualidade do Ar Ambiente
Brasil	Resolução CONAMA nº 3 de 1990
Canadá	Objetivos Nacionais de Qualidade do Ar Ambiente, Ato de Proteção Ambiental Canadense, de 2000
China	Regulamentos da Qualidade do Ar Ambiente - GB3095 de 1996
Índia	O Ar (Prevenção e Controle da Poluição) Regras - GRS6, de 1983
Japão	Padrões da Qualidade do Ar Ambiental do Ministério do Meio Ambiente
África do Sul	Padrões da Qualidade do Ar da África do Sul (SANS) 1929 de 2004
Estados Unidos da América	Padrões Nacionais da Qualidade do Ar Ambiente (NAAQS)

QUADRO 1 – DOCUMENTOS INTERNACIONAIS NORMATIVOS DA QUALIDADE DO AR.
FONTE: ADAPTADO DE OACI (2011)

No Brasil, apesar de em 1923 já existir legislação a respeito de controle de poluição do ar, foi apenas nos anos 1980, com o estabelecimento da Política

Nacional do Meio Ambiente pela Lei 6.938/1981 e a Constituição Federal de 1988 que a gestão da poluição atmosférica passou a ser tratada com maior seriedade.

A Resolução CONAMA 18 de 6 de maio de 1986 instituiu o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores – PROCONVE o qual estabelece limites máximos de emissão de poluentes de veículos automotores novos. Tal resolução é aplicável à indústria automotiva que deve garantir o atendimento aos limites definidos (CONAMA, 1986).

Contudo, o marco na normatização brasileira a respeito da gestão da poluição atmosférica foi a Resolução CONAMA 5 de 15 de julho de 1989, a qual instituiu o Programa Nacional da Qualidade do Ar - PRONAR cujos objetivos são a proteção da saúde e bem-estar das populações e melhoria da qualidade de vida permitindo o desenvolvimento econômico e social do país de forma ambientalmente segura, pela limitação dos níveis de emissão de poluentes por fontes de poluição atmosférica (CONAMA, 1989).

A Resolução CONAMA 3 de junho de 1990, citada no QUADRO 1, foi estabelecida como resultado do PRONAR, estabelecendo padrões de concentração de poluentes atmosféricos considerados aceitáveis. Além disso, dentre outras disposições, a norma designa a responsabilidade de monitoramento da qualidade do ar aos Estados (CONAMA, 1990a).

O PRONAR também instituiu a limitação de emissão de poluentes atmosféricos por empreendimentos, de forma a limitar, em nível nacional, as emissões por tipologia de fontes e poluentes prioritários, reservando o uso dos padrões de qualidade do ar como ação complementar de controle (CONAMA, 1990a).

Também foi estabelecida a Resolução CONAMA 8 de 1990, como complementação ao PRONAR, dispondo sobre o estabelecimento de limites máximos de emissão de poluentes no ar para processos de combustão externa de fontes fixas de poluição (CONAMA, 1990b).

A regulamentação das emissões de fontes fixas específica para as atividades foi instituída através da Resolução CONAMA 382 de 26 de dezembro de 2006, a qual estabelece limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas de empreendimentos licenciados após o ano de 2007 (CONAMA, 2007). Em complementação, a Resolução CONAMA 436 de 22 de dezembro de 2011

estabeleceu os limites para empreendimentos licenciados antes de 2007 (CONAMA, 2011).

Os limites impostos pelas resoluções CONAMA 382/2009 e 436/2011 são aplicáveis aos seguintes empreendimentos: combustão de óleo, gás natural, lenha e bagaço de cana de açúcar; indústria de cimento; indústria de vidro; indústria de fertilizantes; siderurgia; turbinas a gás para geração de energia; refinaria de petróleo; produção de celulose e papel; fusão secundária de chumbo; produção de alumínio primário.

2.2.2 Gestão da Poluição Atmosférica no Estado do Paraná

Segundo Grauer (2013) a gestão atmosférica no Estado do Paraná se baseia no monitoramento da qualidade do ar através de estações manuais e automáticas, bem como no controle e monitoramento das fontes geradoras de poluentes atmosféricos.

A Lei Estadual nº 13.806 de 2002 estabeleceu diretrizes a respeito do controle da poluição atmosférica, padrões e gestão da qualidade do ar. O monitoramento da qualidade do ar; o relatório de qualidade do ar; o inventário de fontes; o licenciamento ambiental; a prevenção de deterioração significativa da qualidade do ar e o programa de emergência para episódios críticos de poluição do ar são instrumentos da gestão da qualidade do ar (PARANÁ, 2002).

O controle da poluição atmosférica e os padrões da qualidade do ar foram regulamentados por dispositivos normativos específicos do poder executivo, que passaram por revisões até o estabelecimento da vigente Resolução da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – SEMA nº 016/2014 (SEMA, 2014).

Tal resolução estabeleceu limites máximos de concentração de poluentes atmosféricos para diversas fontes industriais, comerciais e de serviços. São exemplos de fontes os processos de geração de calor ou energia, tratamento de superfícies, fundição de metais, incineração, co-processamento, entre outros (SEMA, 2014).

A TABELA 1 apresenta os poluentes regulamentados e os respectivos padrões de qualidade do ar a serem atendidos no Estado do Paraná. Salienta-se que tais valores são os mesmos que os apresentados pela Resolução CONAMA 03 de 1990.

TABELA 1 – PADRÕES DE QUALIDADE DO AR NO ESTADO DO PARANÁ

POLUENTE	TEMPO DE AMOSTRAGEM	PADRÃO PRIMÁRIO µg/m ³	PADRÃO SECUNDÁRIO µg/m ³
Partículas Totais em Suspensão	1 ano	80	60
	24 horas	240	150
Fumaça	1 ano	60	40
	24 horas	150	100
Partículas Inaláveis	1 ano	50	50
	24 horas	150	150
Dióxido de Enxofre	1 ano	80	40
	24 horas	365	100
Monóxido de Carbono	8 horas	10.000	10.000
	1 hora	40.000	40.000
Ozônio	1 hora	160	160
Dióxido de Nitrogênio	1 ano	100	100
	1 hora	320	190

FONTE: ADAPTADO DE SEMA (2014)

O monitoramento da qualidade do ar no estado teve seu início no ano de 1985. Atualmente a Região Metropolitana de Curitiba conta com 8 estações automáticas, sendo 4 no município de Curitiba e 4 em Araucária, bem como 5

estações manuais, sendo 1 em Curitiba, 3 em Araucária e 1 em Colombo (IAP, 2015).

Nos últimos anos foram observados alguns eventos em que a qualidade do ar se encontrava inadequada ou má nos municípios de Araucária e Colombo devido às concentrações de poluentes. Apesar dos esforços de melhorias já aplicados na região, tais violações da qualidade do ar demonstram a necessidade de maior fiscalização e controle mais rigoroso. A implantação de sistema de monitoramento automatizado em Colombo é importante para pronta resposta a problemas de poluição. As demais estações da Região Metropolitana de Curitiba apresentam valores de concentração de poluentes bons ou regulares (IAP, 2015).

As informações referentes à qualidade do ar são divulgadas ao público diariamente através dos boletins de qualidade do ar disponíveis na página na internet do Instituto Ambiental do Paraná e anualmente através dos relatórios de qualidade do ar.

O Inventário Estadual de Emissões Atmosféricas do Paraná foi elaborado em 2013. Os poluentes atmosféricos considerados mais importantes para a saúde humana, originados principalmente nos processos de queima de combustível, foram estimados de acordo com as fontes industriais e veiculares do estado do Paraná (GRAUER, 2013).

Dentre os resultados observados, constatou-se que na Região Metropolitana de Curitiba (RMC) as atividades industriais são as maiores emissoras de material particulado (MP), óxidos de enxofre (SO_x) e óxidos de nitrogênio (NO_x), quando comparados com os veículos. Devido a grande frota veicular da região, as atividades de transporte emitem aproximadamente quatro vezes mais monóxido de carbono (CO) que o setor industrial (GRAUER, 2013), conforme TABELA 2.

TABELA 2 – EMISSÕES DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA

POLUENTE	INDÚSTRIA	VEICULAR
MP (t/ano)	10.564	1.563
SO _x (t/ano)	23.904	898
CO (t/ano)	34.078	132.991
NO _x (t/ano)	24.759	10.729

FONTE: ADAPTADO DE GRAUER (2013)

A Região Metropolitana de Curitiba, abrangida pelo inventário cujos dados foram apresentados neste estudo, conta com 29 municípios e uma área de 16.581, 21 km² (COMEC, 2016).

2.3 ATIVIDADE AEROPORTUÁRIA

A história dos transportes evoluiu com a própria humanidade, desde as formas rudimentares de locomoção terrestre e marítima até a aviação. O transporte aéreo teve seu início com a invenção do dirigível em 1895, seguido pelo avião criado no século seguinte, revolucionando a maneira de realizar viagens de longas distâncias (PEREIRA, 1987).

No início do século XX a aviação se desenvolveu no Brasil, e como consequência, foram sendo criados os aeródromos, que no princípio eram construídos apenas como campos de pouso gramados destinados para exposições (SANTOS, 1985).

O Campo dos Afonsos foi criado em 1912 na cidade do Rio de Janeiro para abrigar o Aeroclube Brasileiro, sendo palco das primeiras experiências da aviação no país, como o pouso do primeiro voo proveniente de São Paulo e a primeira utilização de aeronaves para fins militares na Guerra do Contestado (FAB, 2016).

Outro marco para a atividade aeroportuária foi a construção em 1919 do Aeroporto Campo de Marte em São Paulo com uma pista de pouso e decolagem e um hangar (SANTOS, 1985).

A aviação comercial se desenvolveu mais fortemente no Brasil com a criação da Empresa Viação Aérea Rio Grandense (VARIG) em 1926, alavancando o transporte aéreo civil no país (PEREIRA, 1987). Dessa forma, aumentou-se a demanda para a implantação de aeroportos no país.

Em 1944 foi criada a Organização da Aviação Civil Internacional (OACI) a qual o Brasil é signatário desde então. Os objetivos da organização são desenvolver a aviação civil internacional de uma forma segura e ordenada. A primeira convenção realizada em Chicago já trazia regras para a atividade aeroportuária (OACI, 2016).

No Brasil, em 1986 através da Lei nº 7565, foi criado o código brasileiro da aeronáutica que regulamenta a atividade no país. O código criou a definição de aeroporto como todo aeródromo público dotado de instalações e facilidades para apoio de operações de aeronaves e de embarque e desembarque de pessoas e cargas (BRASIL, 1986).

Dessa forma, os aeroportos não são apenas campos de pouso e decolagem, mas empreendimentos que devem possuir atividades e infraestrutura para dar suporte às operações das aeronaves, aos passageiros e às cargas.

Atualmente o país conta com 654 aeródromos públicos e 1840 privados homologados pela Agência Nacional da Aviação Civil (ANAC). Dentre os aeródromos públicos, 200 são considerados aeroportos (ANAC, 2016). Segundo a Secretaria da Aviação Civil (SAC), o Brasil é a segunda nação do mundo em número de aeroportos, movimentando 199 milhões de embarques e desembarques por ano (SAC, 2016).

Dentre os aeroportos públicos do país, 112 recebem voos regulares. A Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária (INFRAERO), vinculada ao Governo Federal através da Secretaria da Aviação Civil, administra 60 aeroportos. Seis dos principais aeroportos do país foram concedidos à iniciativa privada e outros quatro estão em processo de concessão (SAC, 2016).

2.3.1 Emissões de Poluentes Atmosféricos em Aeroportos

A preocupação com as emissões de poluentes atmosféricas em aeroportos aumentou significativamente a partir da criação das aeronaves com turbinas na década de 1970 (OACI, 2011). Desde então, medidas de controle e políticas vêm sendo adotadas no mundo a fim de mitigar tal problema.

A OACI reconhece que as fontes de emissão de poluentes atmosféricos relacionadas a aeroportos contribuem com a degradação da qualidade do ar das comunidades vizinhas, além de possuir potencial de causar impactos de níveis regionais e globais.

Dentre os problemas causados citam-se aqueles nocivos à saúde pública, o aumento de concentrações de O₃ troposférico, mudanças climáticas, chuva ácida, entre outros (OACI, 2011).

O manual aeroportuário da qualidade do ar é uma das diretrizes da Organização da Aviação Civil Internacional e traz para a comunidade internacional um regulamento para realização de medições de qualidade do ar em aeroportos, modelagem de dispersão e metodologia para a elaboração de inventários de poluentes atmosféricos. Tal documento possui como foco a qualidade do ar, portanto, é voltado aos poluentes atmosféricos de impacto local (OACI, 2011).

O Painel Intergovernamental em Mudanças Climáticas (*Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC*) publicou em 2006 diretrizes para inventário nacional de gases do efeito estufa. O volume 2 é referente às emissões relacionadas à energia, estando a aviação civil inclusa. Tal metodologia considera todas as fases de voo das aeronaves, tendo em vista que contabiliza os gases de efeito estufa, com impactos globais (IPCC, 2006).

O Conselho Internacional de Aeroportos (*Airports Council International – ACI*) desenvolveu em 2009 o manual para gerenciamento das emissões de gases do efeito estufa de aeroportos, trazendo informações sobre como inventariar, classificar, calcular e reduzir emissões de gases do efeito estufa em aeroportos (ACI, 2009).

O controle de emissão de poluentes atmosféricos é tema também dos órgãos reguladores da aviação civil no mundo todo. Há normas, *softwares* e documentos específicos desenvolvidos por órgãos como a Administração da Aviação

Federal dos Estados Unidos da América (*Federal Aviation Administration – FAA*), pela Eurocontrol na União Europeia e pela ANAC no Brasil.

2.3.2 Fontes de Emissão em Aeroportos

As fontes de emissão de poluentes atmosféricos podem ser classificadas em quatro categorias: emissões de aeronaves, emissões de auxílio às aeronaves, fontes estacionárias ou de infraestrutura e de tráfego de veículos.

O QUADRO 2 apresenta a classificação estabelecida pela OACI (2011) através do manual aeroportuário da qualidade do ar.

Categoria	Fontes
Aeronaves	Motores principais Motores auxiliares (APU)
Auxílio às aeronaves	Equipamentos de auxílio de solo (GSE) Tráfego de veículos operacionais Abastecimento de aeronaves Degelo das aeronaves
Estacionárias / Infraestrutura	Plantas de geração de energia Geradores de energia de emergência Manutenção do aeroporto e de aeronaves Armazenamento e distribuição de combustível Atividades de construção Treinamento de combate a incêndio Degelo de pistas e vias de serviço
Tráfego externo	Veículos nas vias e estacionamentos externos

QUADRO 2 – FONTES DE EMISSÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS EM AEROPORTOS.
FONTE: ADAPTADO DE OACI (2011)

As fontes de emissão contempladas no presente estudo são os motores principais e auxiliares das aeronaves, bem como os equipamentos de auxílio de solo.

2.3.2.1 Emissões de aeronaves

As aeronaves são o principal foco de um aeroporto, uma vez que suas movimentações são o objetivo desses empreendimentos. As emissões de poluentes atmosféricos de aeronaves são provenientes de seus motores principais e das unidades de energia auxiliar (*auxiliary power unit* – APU).

Dentre os motores principais de aeronaves, citam-se dois tipos, os que funcionam a pistão e os que possuem turbinas, sendo que nos motores a pistão em aeronaves de pequeno porte é utilizada como combustível a gasolina de aviação e nas demais a combustão é feita com querosene de aviação (IPCC, 2006). A queima de tais combustíveis fósseis gera produtos como fumaça, hidrocarbonetos, óxidos de nitrogênio, monóxido de carbono e outros poluentes do ar (PATTERSON; RAYMAN, 1996).

Os motores principais possuem diferentes fatores de emissão de poluentes, de acordo com o modelo do equipamento e com as fases de voo, tais como espera, taxiamento, decolagem, aproximação e pouso. Tais operações que acontecem no aeroporto e suas imediações até uma altura de 3.000 pés formam o ciclo de pouso e decolagem (*landing and take-off* – LTO). As emissões geradas durante o ciclo de pouso e decolagem são aquelas que são consideradas relacionadas aos aeroportos (OACI, 2011). Na FIGURA 1 são ilustradas as fases do ciclo LTO.

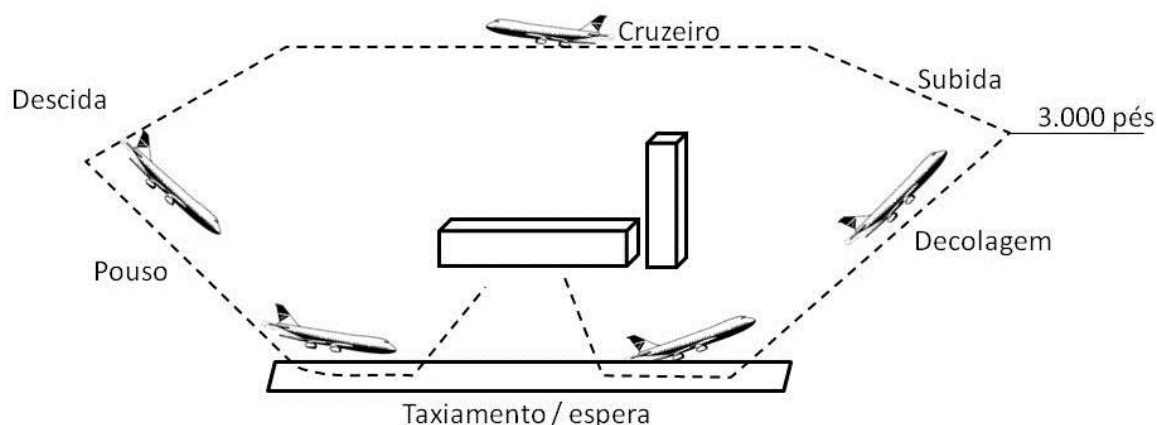


FIGURA 1 – CICLO DE POUSO E DECOLAGEM
FONTE: ADAPTADO DE IPCC (2000)

No Brasil, as emissões de escapamento de aeronaves são normatizadas pelo Regulamento Brasileiro da Aviação Civil (RBAC) 34 emenda 04 da ANAC, aprovado pela Resolução ANAC 269 de 18 de março de 2013. Tal documento utiliza como referência o regulamento *Title 14 Code of Federal Regulations Part 34* da FAA, utilizado nos Estados Unidos da América (ANAC, 2013).

O RBAC 34 apresenta procedimentos para realizar as medições das emissões dos motores das aeronaves, bem como valores limites de fumaça, hidrocarbonetos, NO_x e CO, de acordo com ano de fabricação e classificação da aeronave.

As APUs são motores que fornecem energia elétrica aos sistemas das aeronaves durante as operações de solo, tais como o taxiamento, embarque e desembarque de passageiros (OACI, 2011). São geralmente localizados na parte traseira da aeronave.

As APUs utilizam combustível de aviação, mais caro que o óleo diesel, o que faz com que a maioria das empresas aéreas as utilizam apenas até a conexão com as unidades auxiliares de geração de energia elétrica de solo (*ground power unit* - GPU).

2.3.2.2 Auxílio às aeronaves

Tipicamente, as fontes de emissão relacionadas às atividades de auxílio às aeronaves estão ligadas aos equipamentos de suporte de solo (*ground support equipment* – GSE), tráfego de veículos na área operacional, abastecimento de aeronaves e degelo de aeronaves (OACI, 2011).

Como exemplos de GSEs que operam em aeroportos citam-se os caminhões para abastecimento de combustível, caminhão para coleta de dejetos líquidos, caminhões para serviço de comissária, tratores para reboques porta bagagem, carregadores de containers e estrados, unidades auxiliares de geração de energia elétrica de solo (*ground power unit* - GPU), tratores empurradores para aeronave, veículos com escada para passageiros, micro-ônibus, unidades de ar condicionado (*air conditioning unit* - ACU), tratores para reboque de equipamentos e

caminhões para abastecimento de água (D'AGOSTO; REAL; RIBEIRO, 2001; OACI, 2011)

Os GSEs são essenciais à operação das aeronaves tendo em vista a importância dos serviços prestados. São considerados como fontes de emissões atmosféricas devido à queima de combustível, seja para seu deslocamento, como tratores de reboque, ou para o fornecimento de serviços, como as GPUs.

2.3.2.3 Fontes estacionárias

As fontes estacionárias em um aeroporto são as plantas de energia elétrica e de calor, geradores emergenciais de energia elétrica, atividades de manutenção de aeronaves e da infraestrutura, armazenamento de combustível, atividades de construção e treinamento de combate a incêndio (OACI, 2011).

Os geradores movidos a gasolina ou diesel são considerados motores industriais e a maior parte dos seus poluentes, como CO, NO, SO_x, fumaça e compostos orgânicos voláteis, é emitida por exaustão após a queima dos combustíveis. Os COVs ainda podem evaporar dos combustíveis no interior dos geradores e atingir a atmosfera (USEPA, 1995).

As emissões atmosféricas decorrentes do armazenamento de combustíveis são compostas por vapores orgânicos que já estavam presentes nos tanques vazios e foram expulsos por conta do preenchimento por líquido ou evaporações do próprio combustível em carregamento. As características dos tanques, como tipo de teto, dimensões, posição, entre outro, influenciam diretamente na quantidade de emissões geradas (USEPA, 1995).

Segundo a ANAC (2009) a empresa operadora de um aeródromo civil público deve implantar, operar e realizar a manutenção dos serviços de salvamento e combate a incêndio, sendo obrigatória a disponibilização de uma área para treinamento para a realização de práticas de salvamento e extinção de incêndio.

Nos treinamentos são realizadas simulações de emergência utilizando-se fogo. Nesses casos, são queimados combustíveis de aviação ou diesel o que pode gerar emissões de fumaça, MP e COV (OACI, 2011). Segundo a FAA (1997), para

tais atividades, pode ser usado também o propano, cuja queima gera uma quantidade muito menor de fumaça.

2.3.2.4 Tráfego externo

As fontes de emissões do tráfego externo estão relacionadas a veículos associados com o aeroporto nas vias de acesso, como carros, ônibus, caminhões, entre outros (OACI, 2011).

Dentre os veículos que mais utilizam as vias de acesso aos aeroportos são aqueles de usuários, de transportes públicos, táxis, ônibus de turismo, fornecedores, entre outros. Incluem-se também os veículos que circulam nos estacionamentos.

Na Região Metropolitana de Curitiba, os veículos são importantes fontes de emissão de poluentes atmosféricos, conforme demonstrado por Grauer (2013) no Inventário Estadual de Emissões Atmosféricas do Paraná, destacando-se por suas contribuições de monóxido de carbono.

2.3.3 Estudos e Inventários de Emissões em Aeroportos

Segundo Masiol e Harrison (2014), as informações atualmente existentes sobre a poluição atmosférica gerada por aeroportos e as consequências de um crescimento futuro na aviação são incertas, havendo a necessidade de maior desenvolvimento de pesquisas.

Entretanto, órgãos de controle, pesquisadores e operadores de aeroportos vêm desenvolvendo trabalhos na área há décadas, sendo elaborados inventários de emissões em diversas partes do mundo.

A ANAC (2014b) considera que inventários de emissões atmosféricas são instrumentos estratégicos para gestão ambiental, sendo sua elaboração necessária

para os programas de melhoria de qualidade do ar. Estimando as emissões por fontes é possível entender a sua contribuição no montante total de poluentes.

Dentre os objetivos dos inventários citam-se a obtenção de informações sobre as emissões a fim de avaliar tendências e cenários futuros, bem como o embasamento para um programa de mitigação (OACI, 2011).

Inventários de emissões de aeroportos já foram elaborados em aeroportos de diversas partes do mundo, como por exemplo, o de Istambul, Denver, Zurique, Milão, Atlanta, Hong Kong, aeroportos do Reino Unido, entre outros.

No Aeroporto de Ataturk, em Istambul na Turquia, foi realizado um inventário referente às emissões de poluentes atmosféricos no ano de 2001. Tal trabalho utilizou uma metodologia estabelecida por Woodmansey e Petterson, o qual considerou fatores de emissão de poluentes por ciclos LTO das aeronaves (KESGIN, 2006).

No ano de 2001 o Aeroporto de Ataturk movimentou 13 milhões de passageiros e 160.901 aeronaves (KESGIN, 2006). A TABELA 3 apresenta os valores de emissões de poluentes atmosféricos totais, por passageiro e por operação de aeronave no Aeroporto de Ataturk.

TABELA 3 – EMISSÕES DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS NO AEROPORTO DE ISTAMBUL EM 2001

POLUENTE	CO	HC	NO _x	SO ₂
Emissões (t)	2.389,13	497,60	1.300,68	66,91
Emissões (g/passageiro)	183,78	38,28	100,05	5,15
Emissões (kg/aeronave)	14,85	3,09	8,08	0,42

FONTE: ADAPTADO DE KESGIN (2006)

O inventário de emissões atmosféricas do Aeroporto Internacional de Denver, nos Estados Unidos foi realizado em 2005. O estudo utilizou o *software Emissions and Dispersion Modeling System* (EDMS), desenvolvido pela FAA, e abrangeu o ano de 2001, porém, criou cenários futuros para diferentes anos até 2030. Foram consideradas as fontes previstas pela OACI (2011), sendo que as

aeronaves e os equipamentos de suporte em solo representaram as emissões mais significativas do aeroporto (RICONDO & ASSOCIATES, 2005).

Segundo a *Denver's Department of Aviation* (2016) em 2015 passaram pelo aeroporto 54.014.502 passageiros e 547.648 aeronaves. A TABELA 4 apresenta os valores de emissões estimados para o ano de 2015 no aeroporto de Denver e os índices dessas emissões.

TABELA 4 – EMISSÕES DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS NO AEROPORTO DE DENVER EM 2015

POLUENTE	CO	COV	NO _x	MP ₁₀	SO _x
Emissões totais (t)	18505,78	1279,75	4381,33	582,57	409,27
Emissões por passageiro (g)	342,61	23,69	81,11	10,79	7,58
Emissões por aeronave (kg)	33,79	2,34	8,00	1,06	0,75

FONTE: RICONDO & ASSOCIATES (2001); DENVER'S DEPARTMENT OF AVIATION (2016)

O Aeroporto de Zurique na Suíça realizou um inventário de suas emissões referentes ao ano de 2008, incluindo todas as fontes relacionadas pela OACI. Para o cálculo, foi utilizado o modelo LASPORT 2.0 (ZURICH AIRPORT, 2016a).

Segundo a Zurich Airport (2016b) o aeroporto movimentou 22.099.233 passageiros e 274.991 aeronaves no ano de 2008. A TABELA 5 apresenta os valores de emissões de poluentes atmosféricos totais, por passageiro e por operação de aeronave no aeroporto de Zurique.

TABELA 5 – EMISSÕES DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS NO AEROPORTO DE ZURIQUE EM 2008

POLUENTE	CO	HC	NO _x	MP	CO ₂
Emissões totais (t)	1.354,00	215,00	912,00	10,00	248.691,00
Emissões por passageiro (g)	61,27	9,73	41,27	0,45	11.253,38
Emissões por aeronave (kg)	4,92	0,78	3,32	0,04	904,36

FONTE: ADAPTADO DE ZURICH AIRPORT (2016a; 2016b)

O estudo considerou o material particulado sem especificar o diâmetro da partícula. Porém, o guia de inventário de emissões da Agência Ambiental Europeia EEA (2013), assume que as emissões de partículas das aeronaves são MP₁₀, podendo dessa forma, ser comparável com os outros estudos.

A Região de Lombardia, no norte da Itália, conta com um Plano Regional de Gerenciamento da Qualidade do Ar. Como parte desse plano, foi realizado o inventário de emissões de poluentes para os anos de 2001, 2003 e 2005 dos três principais aeroportos da região utilizando a metodologia proposta pela Agência Ambiental Europeia (*European Environmental Agency – EEA*), a qual apresenta fatores de emissão por poluente por ciclo LTO dos principais modelos de aeronaves. (CASERINE *et al.*, 2008).

No ano de 2005 o Aeroporto de Milão - Malpensa movimentou 224.598 aeronaves (CASERINE *et al.*, 2008). A TABELA 6 apresenta as emissões de poluentes atmosféricos os valores de emissões para o ano de 2005 no Aeroporto de Malpensa.

TABELA 6 – EMISSÕES DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS NO AEROPORTO DE MILÃO EM 2005

POLUENTE	CO	COV	NO _x	MP ₁₀	CO ₂	SO ₂
Emissões (t)	2.065,00	840,00	1.419,00	20,00	327.000,00	107,00
Emissões (kg/aeronave)	9,19	3,74	6,32	0,09	1.455,94	0,48

FONTE: ADAPTADO DE CASERINE *et al.* (2008).

O estudo comparou a emissão de poluentes por área ocupada pelo aeroporto com as emissões por área de zona urbana e concluiu que os índices de emissão de NO_x e MP_{10} são semelhantes.

O Aeroporto de Atlanta - Hartsfield Jackson teve suas emissões referentes ao ano 2000 inventariadas, quando o aeroporto movimentou 423.423 ciclos LTO, ou seja, 846.846 operações de aeronaves. Os cálculos foram realizados utilizando o software EDMS, porém, a versão 4.01, a qual não contava com fatores de emissão de material particulado para aeronaves. Por isso, as emissões de MP foram calculadas a parte utilizando metodologia da FAA baseada no número de fumaça e combustível consumido (UNAL *et al.*, 2005).

A TABELA 7 apresenta as emissões de poluentes atmosféricos, os valores de emissões para o ano de 2000 no aeroporto de Atlanta, divididos por fontes e poluentes.

TABELA 7 – EMISSÕES DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS NO AEROPORTO DE ATLANTA EM 2000

POLUENTE	CO	COV	NO_x	MP_{10}	SO_2
Aeronaves (t)	5.204,00	1.013,00	4.910,00	101,00	473,00
GSE (t)	584,00	43,00	343,00	30,00	46,00
Emissões (t)	5.788,00	1.056,00	5.253,00	131,00	519,00
Emissões (kg/aeronave)	6,83	1,25	6,20	0,15	0,61

FONTE: ADAPTADO DE UNAL *et al.* (2005).

Apesar das emissões de aeronaves serem predominantes no aeroporto, os GSEs são responsáveis por 23% das emissões de material particulado e 10% das emissões de monóxido de carbono.

Outros estudos foram realizados no aeroporto de Atlanta, como Rissman *et al.* (2013) que concluiu que as emissões de material particulado associadas aos ciclos LTO das aeronaves foi responsável por 1,4 mortes prematura de adultos por

ano na região metropolitana de Atlanta. O estudo não abrangeu as mortes de crianças.

O Governo de Hong Kong, através do *Environmental Protection Department* (2016), desenvolve inventários anuais de emissões de poluentes atmosféricos na região.

Dentre as emissões consideradas no inventário, são consideradas as emissões da aviação civil, responsável por 6% das emissões de NO_x e 5% das emissões de CO. As fontes consideradas são a geração pública de energia elétrica, transporte rodoviário, navegação, outras fontes de combustão e fontes sem combustão.

A TABELA 8 apresenta os resultados do inventário de 2013.

TABELA 8 – EMISSÕES DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS NA REGIÃO DE HONG KONG EM 2013

POLUENTE	SO ₂	NO _x	MP ₁₀	COV	CO
AVIAÇÃO CIVIL (t)	540	6240	60	580	3320
TOTAL (t)	31280	113220	6040	29420	60790
PORCENTAGEM	2%	6%	1%	2%	5%

FONTE: ADAPTADO DE ENVIRONMENTAL PROTECTION DEPARTMENT (2016).

O *Environmental Protection Department* (2016) utiliza desde 2012 a versão 5.1.3 do *software* EDMS e considera os ciclos LTO do Aeroporto Internacional de Hong Kong. Não há informações disponíveis sobre a movimentação do aeroporto em 2013, porém, segundo Hong Kong Airport (2016), em 2014 o aeroporto movimentou 63,3 milhões de passageiros e 391.000 aeronaves.

A TABELA 9 apresenta as emissões de poluentes atmosféricos inventariados para o ano de 2013 referentes ao Aeroporto de Hong Kong e os índices dessas emissões com as movimentações de 2014.

TABELA 9 – EMISSÕES DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS NO AEROPORTO DE HONG KONG EM 2013 E COMPARAÇÃO COM A MOVIMENTAÇÃO DE 2014

POLUENTE	SO _x	NO _x	MP ₁₀	COV	CO
Emissões (t)	540,00	6.240,00	60,00	580,00	3.320,00
Emissões (g/passageiro)	8,53	98,58	0,95	9,16	52,45
Emissões (kg/aeronave)	1,38	15,96	0,15	1,48	8,49

FONTE: ADAPTADO DE ENVIRONMENTAL PROTECTION DEPARTMENT (2016); HONG KONG AIRPORT (2016).

Yim, Stettler e Barrett (2013) calcularam as emissões geradas nos 20 maiores aeroportos do Reino Unido em 2005, considerando as emissões nos ciclos LTO, de APUs e GSEs. Tais aeroportos atendem juntos 200,45 milhões de passageiros por ano, o que representa 95% da movimentação do país. A TABELA 10 apresenta os valores de emissão em 2005 no Reino Unido.

TABELA 10 – EMISSÕES DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS NOS 20 AEROPORTOS MAIS MOVIMENTADOS DO REINO UNIDO EM 2005

POLUENTE	CO	HC	NO _x	SO ₂	CO ₂
Emissões (t)	11.700,00	1.780,00	10.200,00	753,50	2.410.000,00
Emissões (g/passageiro)	58,37	8,88	50,89	3,76	12.022,95

FONTE: ADAPTADO DE YIM, STETTLER e BARRETT (2013).

Dentre os resultados, o estudo estimou que as emissões de aeroportos no Reino Unido causam aproximadamente 110 mortes prematuras por ano, e com as expansões previstas, caso não haja ações de mitigação, tal número tende a aumentar para 250 em 2030.

Pham *et al.* (2010) realizou um inventário de um período de 6 meses em 2008, que contemplou 492.936 voos no espaço aéreo australiano. Tal estudo considerou todas as fases de voo, inclusive de cruzeiro. Dentre as conclusões, o trabalho observou que os voos domésticos são responsáveis pela maior parte das emissões de hidrocarbonetos e monóxido de carbono, enquanto que os

internacionais emitem mais óxidos de nitrogênio, óxidos de enxofre e dióxido de carbono, devido às características das aeronaves.

Segundo Carra (2011) no Brasil a realização de inventários de emissões em aeródromos não é uma prática comum, o que permitiria o desenvolvimento de propostas de medidas de reduções.

Contudo, em 2014 a ANAC (2014b) realizou o Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas da Aviação Civil tendo como 2013 o ano base. Tal estudo contemplou todas as operações de aeronaves civis no país, excluindo as emissões aeroportuárias de atividades de suporte e demais equipamentos e veículos em solo. Não foi considerada a fase de cruzeiro para os poluentes de impacto local.

No ano de 2013 no Brasil os aeroportos movimentaram 109,2 milhões de passageiros e 1.087.000 de voos (ANAC, 2014a). A TABELA 11 apresenta os valores de emissões totais, por passageiros e aeronaves.

TABELA 11 – EMISSÕES DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS PELA AVIAÇÃO CIVIL NO BRASIL EM 2013

POLUENTE	CO	COV	NO _x	SO _x	MP	CO ₂
Emissões (t)	6.600,00	650,00	11.000,00	590,00	30,00	17.613.000,00
Emissões (g/passageiro)	60,44	5,95	100,73	5,40	0,27	161.291,21
Emissões (kg/aeronave)	6,07	0,60	10,12	0,54	0,03	16.203,31

FONTE: ADAPTADO DE ANAC (2014a; 2014b)

O estudo não especificou o diâmetro da partícula do MP. O guia de inventário de emissões da Agência Ambiental Europeia EEA (2013) assume que as emissões de partículas das aeronaves são MP₁₀. Dessa forma, considera-se que os resultados são comparáveis aos outros estudos.

O trabalho considerou a fase de voo de cruzeiro para cálculo de CO₂, baseando-se no fato de tratar-se de um poluente de impacto global. Assim, os valores apresentados na TABELA 11 para tal composto foram significativamente superiores em comparação aos demais aeroportos estudados que consideraram apenas o ciclo LTO.

No Aeroporto Internacional de Guarulhos foi realizada uma pesquisa em 2008 para avaliar os efeitos dos compostos orgânicos voláteis provenientes da queima de combustível da aviação utilizando como bioindicador vegetal a espécie *Tradescantia pallida*. Os resultados indicaram a presença de componentes capazes de causar mutagenicidade nos pátios de aeronaves (ROCCO JR., 2008).

Diversos estudos foram realizados em diferentes países a respeito das emissões de poluentes atmosféricos. Entretanto, no Brasil os trabalhos ainda são iniciais e pouco se discutiu sobre propostas de medidas de redução nos aeroportos nacionais.

2.3.4 EDMS

A FAA desenvolveu desde os anos 1980 o *software Emissions and Dispersion Modeling System* (EDMS) em parceria com a Força Aérea dos Estados Unidos com a função de produzir inventários de fontes provenientes de aeroportos e entornos, bem como calcular as concentrações de poluentes nesses ambientes (FAA, 2013). O *software* é de uso livre e distribuído pela FAA sob solicitação.

As fontes de emissão consideradas pelo *software* são as aeronaves, APUs, GSEs, tráfego externo e fontes estacionárias, tais quais as previstas no manual aeroportuário de qualidade do ar desenvolvido pela OACI.

O EDMS possui em seu banco de dados os fatores de emissões de motores de aeronaves da OACI, fatores de emissão de veículos do modelo MOBILE6 da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos da América (*United States Environmental Protection Agency – EPA*) e dados sobre as emissões de poluentes compostos orgânicos e hidrocarbonetos aromáticos policíclicos de fontes evaporativas.

Os gases inventariados pelo *software* são o CO₂, CO, hidrocarbonetos totais, hidrocarbonetos não metano, COVs, NO_x, SO_x, MP₁₀ e MP_{2,5}. Os resultados do inventário são dados por ano, para cada categoria de fonte no cenário apresentado em toneladas.

Durante as últimas décadas o EDMS foi utilizado em aeroportos em diferentes países para a realização dos seus inventários de emissões. Sua última atualização foi realizada em junho de 2013.

O *software* possui dados de localização, altitude e climatologia dos principais aeroportos em seu banco de dados, sendo necessário incluir a configuração do sistema de pátios e pistas de pouso e decolagem, rotas de taxiamento, edificações, equipamentos, entre outros.

As informações de configuração do aeroporto que necessitam ser inseridas no EDMS para cálculo das emissões atmosféricas são: localização dos pátios de embarque e desembarque (*gates*), pistas de taxiamento (*taxiways*) e pistas de pouso e decolagem (*runways*). O *software* utiliza o sistema métrico, sendo necessário inserir pontos em um plano cartesiano.

As rotas de taxiamento (*taxipaths*), que são os trajetos que as aeronaves realizam dos pátios de embarque e desembarque passando pelas pistas de taxiamento até as cabeceiras das pistas para decolagem e o caminho oposto após o pouso, devem ser inseridas no programa, conforme a utilização no aeroporto.

As porcentagens de uso das cabeceiras das pistas são inseridas no EDMS no item configuração (*configuration*).

O perfil de quarto de hora é a média de movimentação do aeroporto distribuído pelos horários do dia e devem ser inseridas no *software*. Os dados são as informações referentes à distribuição média dos voos durante o dia, dividido a cada 15 minutos. O valor da contribuição varia entre 0 e 1, sendo 1 o valor máximo baseado no horário com maior movimentação.

As informações sobre as aeronaves necessárias para que o programa realize os cálculos do inventário são as quantidades de ciclos LTO de acordo com os modelos e pátios de embarque e desembarque utilizados após o pouso.

O EDMS possui em seu banco de dados GSEs e seus respectivos fatores de emissão padrões para cada tipo de aeronaves, com a possibilidade de alteração conforme realidade do aeroporto em estudo.

2.3.5 Medidas de Redução

As medidas de redução de emissões de poluentes atmosféricos seguem quatro estratégias. As medidas regulatórias são normas específicas com parâmetros e restrições de uso estabelecidas pelos órgãos de controle, tais como leis que proíbam o uso de determinado equipamento ou incentive operações mais eficientes. As operacionais são aquelas que podem ser adotadas pelos operadores dos equipamentos que geram os poluentes, como por exemplo, o uso de combustível alternativo de aviação. As medidas econômicas são políticas governamentais, tais como incluir os custos ambientais nas taxas. Alterações de tecnologia e de configuração do sistema aeroportuário são consideradas medidas técnicas ou de infraestrutura, das quais o operador do aeroporto possui maior influência (OACI, 2011).

Dentre as medidas de redução técnicas e de infraestrutura que o operador do aeroporto pode contribuir, citam-se a disponibilização de ponto fixo de fornecimento de energia elétrica e ar condicionado às aeronaves nas posições de estacionamento, bem como as melhorias na configuração das pistas de taxiamento, pouso e decolagem e terminal, reduzindo as distâncias e congestionamento de aeronaves em solo (ACI, 2009).

2.3.5.1 Ponto fixo de fornecimento de energia elétrica

A disponibilização de ponto fixo de energia elétrica e ar condicionado às aeronaves é considerada uma utilidade fixa. Segundo Carra (2011) as utilidades fixas são sistemas mecânicos e elétricos projetados para fornecer energia elétrica, água, ar condicionado, drenar efluentes e retirar resíduos sólidos das aeronaves.

Neste caso, ao fornecer energia elétrica e ar condicionado para a aeronave, o sistema, também conhecido como 400 Hz devido à frequência necessária para fornecimento às aeronaves, minimiza o uso de APU e elimina a necessidade de GSEs como GPU e ACU (ACRP, 2012).

Os GSEs são importantes fontes de emissões nos aeroportos, principalmente de CO e MP, conforme constatado em diversos inventários realizados em diferentes países.

As GPUs e ACUs estão entre os principais equipamentos geradores de emissões de poluição atmosférica, uma vez que são movidos com a queima de combustíveis fósseis e devem permanecer em funcionamento durante toda a etapa de embarque e desembarque de passageiros, tempo que varia de acordo com o aeroporto, modelo de aeronave e quantidade de passageiros. As FIGURAS 2 e 3 apresentam exemplos de GPU e ACU respectivamente.



FIGURA 2 – GPU A DIESEL



FIGURA 3 – ACU A DIESEL

Pontos fixos de energia elétrica para aeronaves são disponibilizados em aeroportos na Europa e Estados Unidos desde a década de 1970. A disponibilização de um ponto de energia elétrica às aeronaves diretamente na ponte de embarque está condicionada à instalação de um conversor para alterar a frequência de alimentação de 60 Hz para 400 Hz. As aeronaves utilizam tal frequência, pois quando utilizam alta frequência os componentes dos sistemas eletrônicos podem ser mais leves e menores, economizando espaço e peso nos voos (AIRCRAFT ENGINEERING, 1975).

A FIGURA 4 apresenta um exemplo de conversor de frequência para 400Hz para fornecimento de energia elétrica em ponto fixo.



FIGURA 4 – EXEMPLO CONVERSOR DE FREQUÊNCIA PARA 400HZ
FONTE: CAVOTEC (2007)

A disponibilização de energia elétrica também permite a implantação de equipamentos fixos de ar condicionados elétricos, eliminando assim os equipamentos móveis movidos a diesel. A FIGURA 5 apresenta um exemplo de uso de unidade de ar condicionado elétrico.



FIGURA 5 – EXEMPLO DE USO DE UNIDADE DE AR CONDICIONADO ELÉTRICO
FONTE: CAVOTEC (2007)

A implantação das utilidades fixas gera redução na queima de combustíveis fósseis nos pátios de aeronaves nos aeroportos, consequentemente diminuindo a emissão de poluentes atmosféricos e ruídos ocupacionais para os trabalhadores, uma vez que não são mais utilizados motores à combustão. Apesar de a tecnologia existir há décadas, não foram encontrados registros de sua utilização no Brasil atualmente.

2.3.5.2 Adequações no taxiamento

Uma das fases de voo em que a aeronave gera poluentes atmosféricos é a de taxiamento, que abrange o período de saída da posição de estacionamento no pátio até o início da corrida para a decolagem, bem como a saída da pista após o pouso até a posição para desembarque, incluindo os tempos de espera necessários por diversos motivos, tais como movimentação de outras aeronaves em solo e vistorias.

Durante a fase de taxiamento, as aeronaves tipicamente utilizam todos os seus motores em marcha lenta, com breves picos de carga para iniciar o movimento ou fazer curvas fechadas (OACI, 2011).

Do ponto de vista ambiental, as pistas de taxiamento aperfeiçoadas reduzem as emissões no aeroporto, fornecendo rotas mais rápidas e menos paradas. A fase de taxiamento é a etapa em que os motores de aeronaves produzem mais emissões por quantidade de combustível consumido, devido à operação em baixa potência, sendo fonte significativa de hidrocarbonetos e monóxido de carbono (KESGIN, 2006).

No aeroporto de Zurique em 2008 foram realizados esforços para minimizar os tempos de taxiamento das aeronaves, a fim de reduzir a emissões de poluentes de seus motores. O estudo concluiu que algumas alterações de infraestrutura, como a posição de uma ponte de embarque, poderiam diminuir o tempo médio de taxiamento. A diminuição em 1 minuto no tempo médio de taxiamento reduziria aproximadamente 6 toneladas de NO_x e 4.500 toneladas de CO_2 por ano do total do aeroporto (ZURICH AIRPORT, 2016a).

A TABELA 12 apresenta a redução das emissões no Aeroporto de Zurique com a diminuição no tempo médio de taxiamento em 1 minuto, bem como a sua contribuição em porcentagem em relação ao total de emissões do aeroporto.

TABELA 12 – REDUÇÃO DAS EMISSÕES NO AEROPORTO DE ZURIQUE COM A DIMINUIÇÃO DO TEMPO MÉDIO DE TAXIAMENTO EM 1 MINUTO

POLUENTE	CO	HC	NO _x	CO ₂
Redução (t)	36	6	6	4504
Contribuição %	3,956%	2,143%	0,474%	1,406%

FONTE: ADAPTADO DE ZURICH AIRPORT (2016b)

Alterações de infraestrutura das pistas de taxiamento devem seguir diretrizes dos órgãos de controle. O anexo 14 da Convenção da Aviação Civil Internacional apresenta uma série de recomendações. Dentre elas, destaca-se que as pistas de taxiamento devem permitir a movimentação segura e rápida de aeronaves, bem como ser disponibilizadas em número suficiente para melhorar o fluxo da movimentação de aeronaves entrando e saindo da pista de pouso e decolagem. Outros requisitos como largura, tipos de curvas, declividade, resistência da pista e outros também devem ser observados na implantação das pistas de taxiamento (OACI, 2004).

No Brasil, tais requisitos são estabelecidos pelo Regulamento Brasileiro da Aviação Civil (RBAC) nº 154, elaborado pela ANAC a fim de fornecer critérios mínimos para projetos de aeródromos (ANAC, 2012).

Dessa forma, nota-se que as adequações, além de reduzir as emissões de poluentes atmosféricos, também permitem atender a requisitos nacionais e internacionais que visam garantir a segurança e qualidade dos serviços na aviação civil.

A INFRAERO (2008) possui projetos para implantação de duas novas pistas de taxiamento chamadas K e J que contribuiriam para melhora na fluidez do tráfego de aeronaves durante a fase de taxiamento no Aeroporto Afonso Pena.

2.4 AEROPORTO AFONSO PENA

Segundo pesquisa da Secretaria da Aviação Civil, a qual considera a opinião dos usuários para diversos quesitos qualitativos, o Aeroporto Afonso Pena foi eleito no último trimestre de 2015 o melhor aeroporto do Brasil (SAC, 2016). Tal título foi constatado em diversos outros trimestres, desde que a pesquisa começou a ser realizada no início de 2013.

O aeródromo está entre os doze aeroportos nacionais classificados pela ANAC como AP-3, categoria de aeroportos com as maiores movimentações do país, superiores a cinco milhões de passageiros por ano (ANAC, 2016).

O Aeroporto Afonso Pena está situado no município de São José dos Pinhais, na área da antiga colônia Afonso Pena, na região metropolitana de Curitiba, ocupando uma área de 5.236.043 km². É o principal aeroporto do Estado do Paraná e um dos principais da Região Sul do Brasil, contando com duas pistas para pouso e decolagem, uma com 2.215 metros de comprimento, denominada por 15-33, e a outra com 1.800 metros, chamada 11-29, sendo que ambas possuem uma largura de 45 metros (INFRAERO, 2016b).

A origem do aeroporto se deu na construção da Base Aérea Afonso Pena pelo Ministério da Aeronáutica na década de 1940 em cooperação com o Departamento de Engenharia do Exército Norte-Americano, como ponto estratégico para operações das forças aliada durante a II Guerra Mundial. Em 1946 se iniciaram os primeiros voos civis regionais e internacionais (INFRAERO, 2016b).

Desde 1974 o aeroporto é administrado e operado pela Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária (INFRAERO), uma empresa pública fundada em 1973, uma das três maiores operadoras aeroportuárias do mundo, contando com 60 aeroportos no país. A empresa representa 60% do movimento aéreo do país, transportando 130 milhões de passageiros por ano. Os aeroportos abrigam diversas atividades econômicas, como alimentação, mídia, hotéis, hangares, centros de convenções e estacionamento de veículos (INFRAERO, 2016c).

Em seu sistema de gestão ambiental a empresa possui o programa de gerenciamento de emissões atmosféricas que visa desenvolver projetos e ações que mitiguem os impactos ambientais decorrentes da emissão de poluentes atmosféricos

provenientes das operações de aeronaves e veículos nos aeroportos (INFRAERO, 2016d).

Não foram realizados estudos específicos relacionados às emissões de poluentes atmosféricos no Aeroporto Afonso Pena, sendo que um inventário seria o primeiro passo para a implantação do programa de gerenciamento de emissões atmosféricas.

3 MATERIAIS E MÉTODO

O trabalho foi desenvolvido em três etapas, sendo primeiramente realizados os levantamentos de campo, seguidos do inventário das emissões de poluentes atmosféricos no Aeroporto Afonso Pena e por fim foram avaliadas as duas propostas de redução das emissões.

3.1 LEVANTAMENTO DE CAMPO

O levantamento de campo foi realizado através de quatro visitas técnicas no Aeroporto Afonso Pena durante o mês de janeiro de 2016. Durante as visitas, foram registrados através de anotações as informações de configuração do aeroporto, quantificando e posicionando os pátios de estacionamento de aeronaves, pistas de taxiamento, pistas de pouso e decolagem e as características de uso de GSEs para auxílio das aeronaves estacionadas.

A etapa de levantamento de campo foi necessária para a realização do inventário e das propostas de medidas de redução de poluentes atmosféricos, sendo os dados obtidos descritos na metodologia dessas etapas.

3.2 INVENTÁRIO

O Aeroporto Afonso Pena possui o Sistema de Movimentação de Aeronaves no Pátio (SMAP) utilizado pela Infraero para registrar informações sobre voos, modelos de aeronaves, pátios utilizados, cabeceiras de pouso e decolagem, entre outros.

As informações para a realização do inventário referentes às fontes de emissão de poluentes atmosféricos no Aeroporto Afonso Pena foram obtidas a partir de levantamentos em campo e os dados operacionais foram extraídos do SMAP.

Os cálculos para o inventário de emissões foram realizados utilizando o *software* EDMS 5.1.3. Os dados de localização, altitude e climatologia do banco de dados do *software* para o aeroporto foram utilizados.

As informações de configuração do sistema de pátios e pistas de pouso e decolagem, rotas de taxiamento, operação de aeronaves e equipamentos foram inseridos no programa. Quando não havia dados primários disponíveis nos controles internos do aeroporto, foram utilizadas as informações padrão do *software* EDMS e em casos em que os dados padrão divergiam da realidade do aeroporto foram realizadas as devidas adequações, tais como os GSEs utilizados.

3.2.1 Configuração do Aeroporto

A disposição e posicionamento do sistema de pátio e pistas, bem como as posições de estacionamento, foram inseridos no *software* através de suas posições no plano cartesiano, utilizando o sistema métrico, de forma a permitir a inserção de dados das pistas de acordo com suas dimensões reais. O ponto (0,0) foi considerado a interseção das pistas de pouso e decolagem.

Os itens do EDMS referentes à configuração do aeroporto são: pátios de embarque e desembarque (*gates*), pistas de taxiamento (*taxiways*), pistas de pouso e decolagem (*runways*), rotas de taxiamento (*taxipaths*), configuração (*configuration*) e perfil de quarto de hora.

3.2.1.1 Pátios de embarque e desembarque

Os embarques e desembarques do aeroporto são realizados nos diferentes pátios de estacionamento de aeronaves. No terminal de passageiros existe um pátio

atendido por seis pontes de embarque. O pátio remoto possui dez posições de aeronaves para embarque e desembarque de cargas e passageiros que o acessam através de ônibus do aeroporto. O aeroporto possui um pátio para aviação geral, com acesso a hangares da aviação privada, para aeronaves de pequeno porte.

Em dezembro de 2015 um novo pátio entrou em operação, contando com 8 pontes de embarque que conectam os passageiros ao terminal de passageiro através de uma edificação com salas de embarque chamada *concourse*.

Na FIGURA 6 é apresentada a configuração de terminais, pátios e pistas do Aeroporto Afonso Pena.

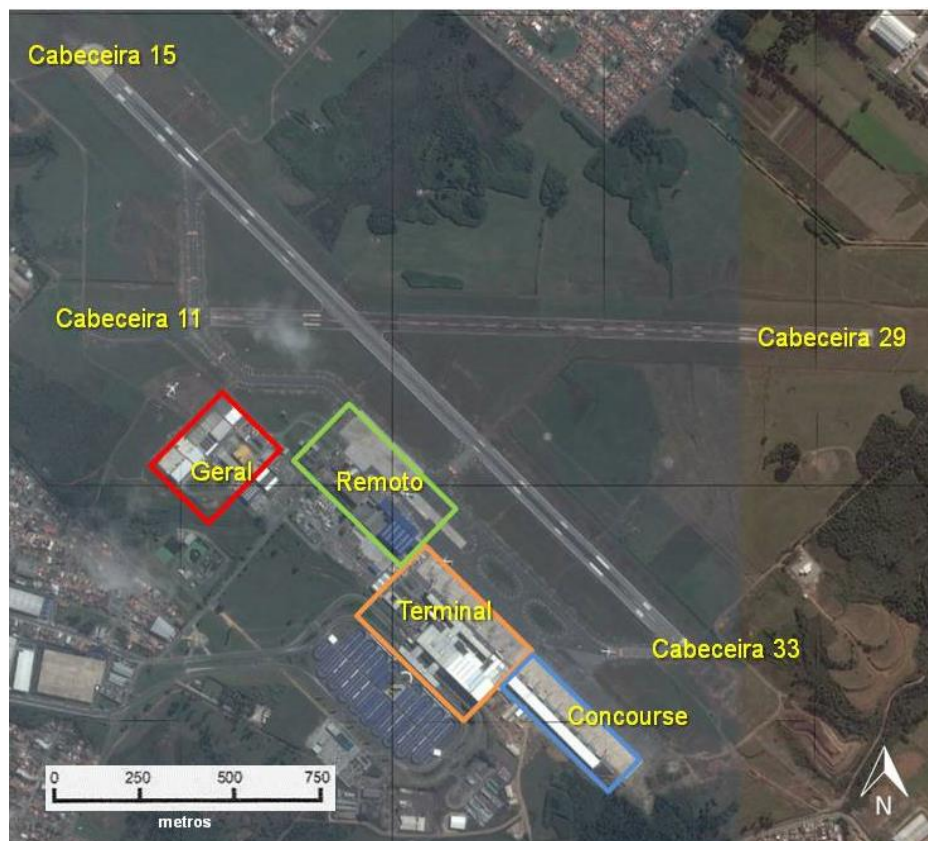


FIGURA 6 – CONFIGURAÇÃO DO AEROPORTO AFONSO PENA
FONTE: ADAPTADO DE GOOGLE EARTH (2016)

As informações de pátios de embarque e desembarque foram inseridas considerando quatro pontos médios: terminal, remoto, geral e concourse, de acordo com suas posições no plano cartográfico.

A FIGURA 7 apresenta a interface do EDMS para inserção dos pátios de embarque e desembarque.

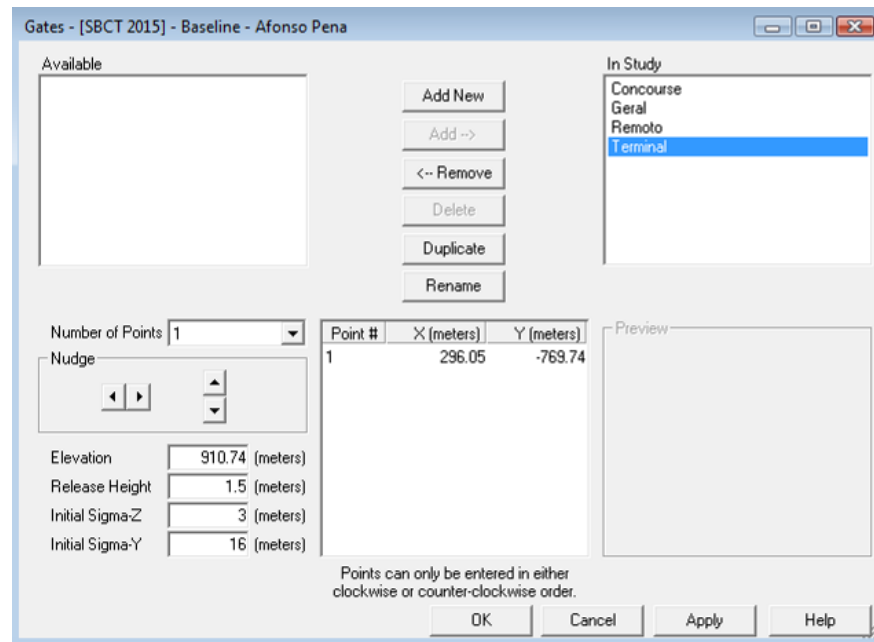


FIGURA 7 – INTERFACE DO SOFTWARE EDMS PARA INSERÇÃO DOS PÁTIOS DE EMBARQUE E DESEMBARQUE

3.2.1.2 Pistas de taxiamento

O aeroporto possui oito pistas de taxiamento para as aeronaves realizarem os trajetos entre os pátios de estacionamento e as cabeceiras das pistas. As cabeceiras que são diretamente conectadas às pistas de taxiamento são a 11 e a 33, sendo que para operações nas cabeceiras 15 e 29 é necessário o taxiamento nas pistas de pouso e decolagem.

As pistas de taxiamento são identificadas como A, B, C, D, E, G, H e I, conforme configuração do aeroporto.

A FIGURA 8 apresenta a localização das pistas de taxiamento.

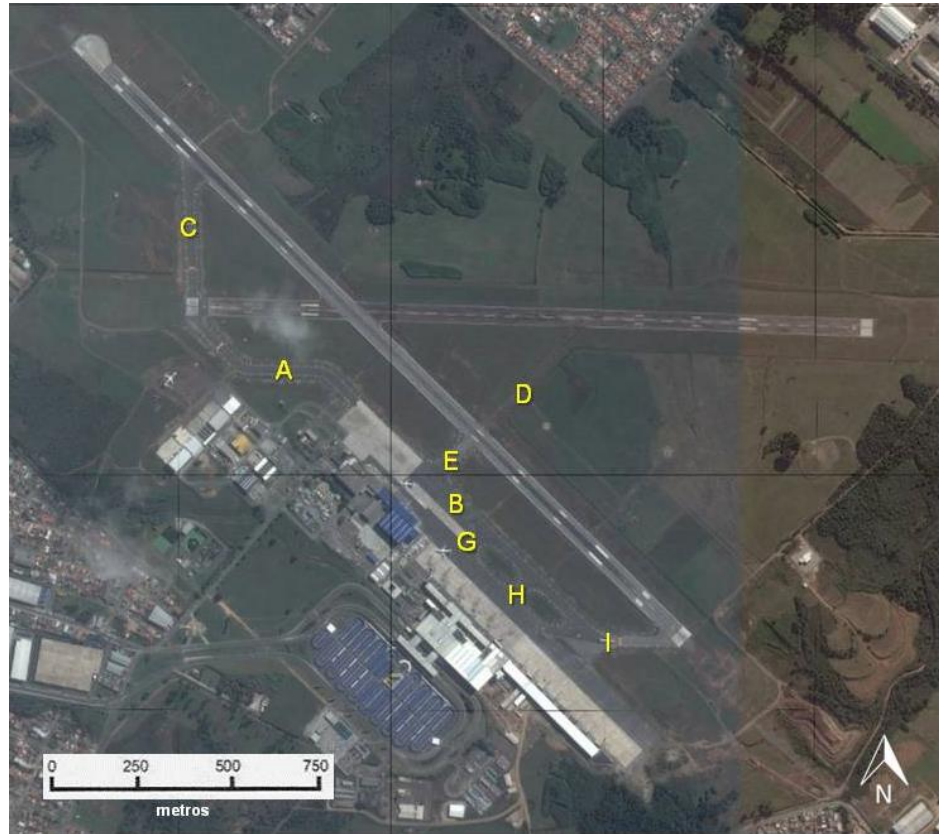


FIGURA 8 – LOCALIZAÇÃO DAS PISTAS DE TAXIAMENTO
FONTE: ADAPTADO DE GOOGLE EARTH (2016)

As pistas de taxiamento inseridas no EDMS identificadas como A, B, C, D, E, G, H e I. Além das pistas oficiais, foram inseridas pequenas pistas de taxiamento conectando os pátios de embarque e desembarque às pistas reais de taxiamento, representando virtualmente o trajeto realizado no próprio pátio de estacionamento.

A FIGURA 9 apresenta a interface do *software* EDMS para inserção das *taxiways*.

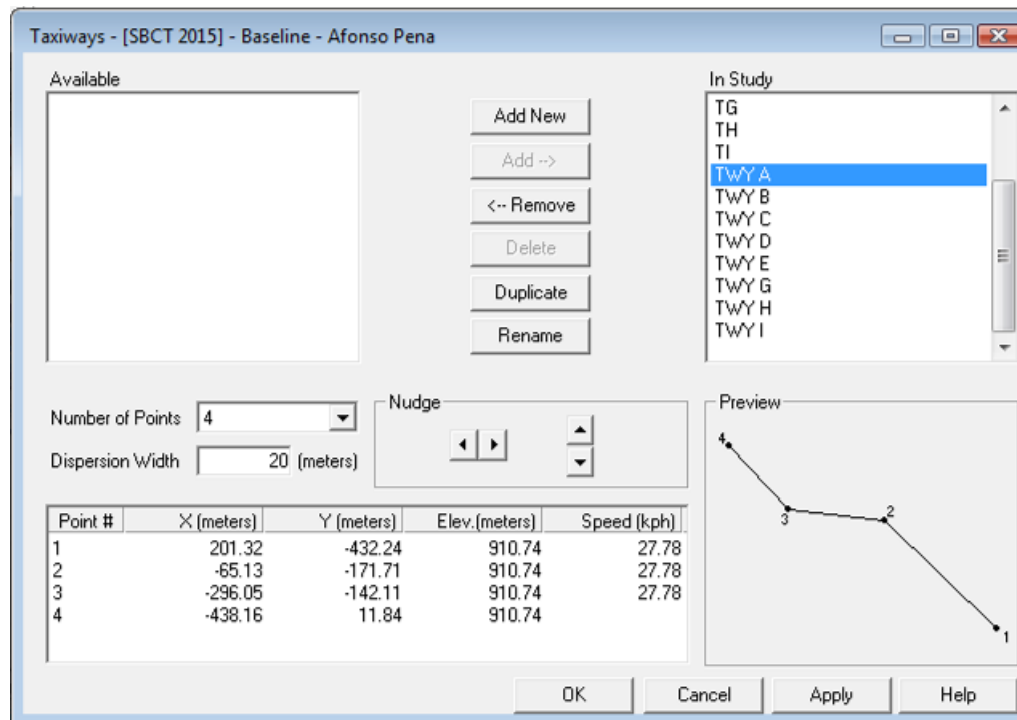


FIGURA 9 – INTERFACE DO SOFTWARE EDMS PARA INSERÇÃO DAS PISTAS DE TAXIAMENTO

3.2.1.3 Pistas de pouso e decolagem

As informações sobre as pistas de pouso e decolagem foram inseridas conforme suas localizações, identificadas como 15-33 e 11-29, de acordo com as quatro cabeceiras. A FIGURA 10 apresenta a interface do EDMS para inserção das *runways*.

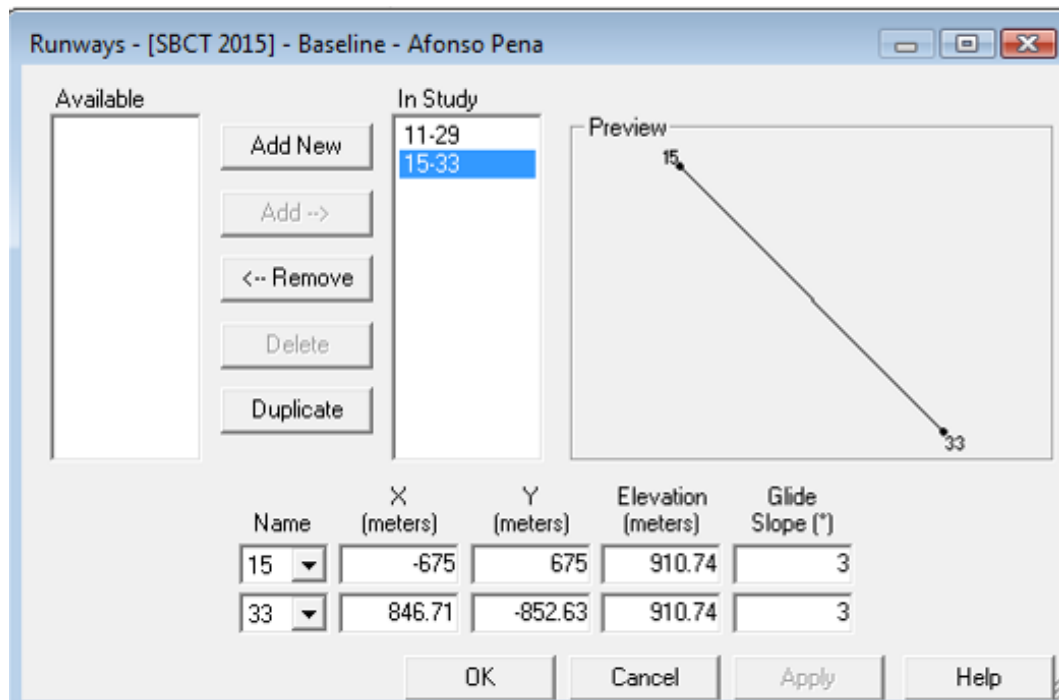


FIGURA 10 – INTERFACE DO SOFTWARE EDMS PARA INSERÇÃO DAS PISTAS DE POUSO E DECOLAGEM

A FIGURA 11 apresenta a interface de visualização do EDMS com a projeção dos pátios de embarque e desembarque, pistas de taxiamento e pistas de pouso e decolagem.

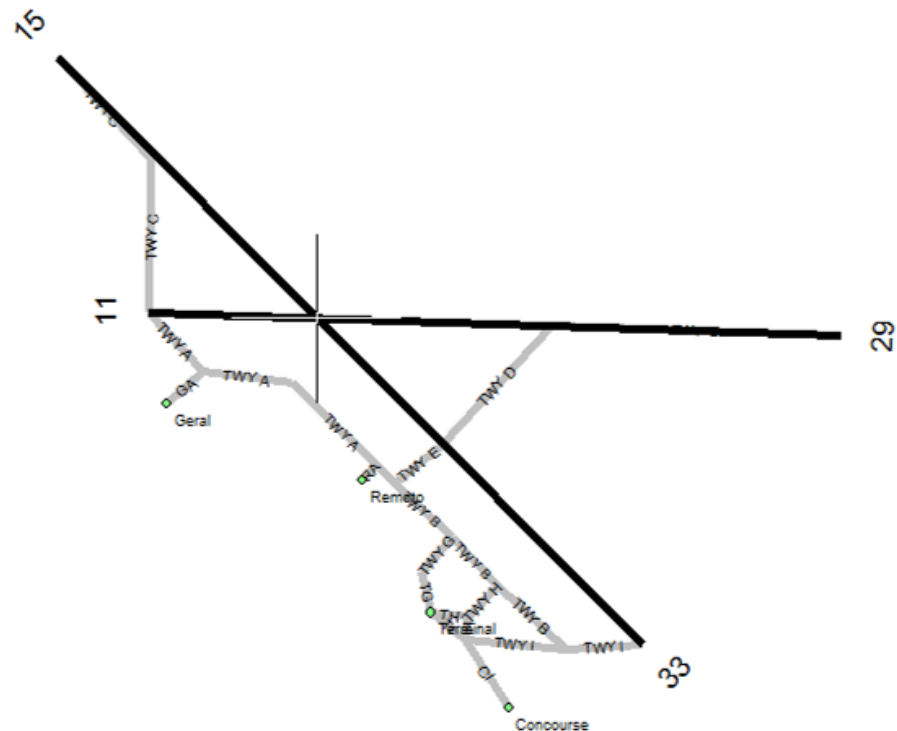


FIGURA 11 – CONFIGURAÇÃO DO AEROPORTO AFONSO PENA INSERIDA NO SOFTWARE EDMS

3.2.1.4 Rotas de taxiamento

As rotas de taxiamento foram inseridas em uma combinação dos quatro pátios de embarque e desembarque com as quatro cabeceiras para pousos e para decolagens, totalizando 32.

A função de conferência de rotas de taxiamento (*check taxipaths*) do EDMS foi executada, conferindo assim a conexão entre pátios de embarque e desembarque, pistas de taxiamento e pistas de pouso e decolagem.

A FIGURA 12 apresenta a interface do EDMS para inserção das rotas de taxiamento.

Taxipaths - [SBCT 2015] - Baseline - Afonso Pena

	Gate	Runway	Direction	Runway Exit	Notes
Add New	Geral	15	Inbound	TWY I	
Edit	Geral	29	Outbound		
	Geral	29	Inbound	TWY A	
Delete	Geral	33	Outbound		
	Geral	33	Inbound	TWY C	
	Remoto	11	Outbound		
	Remoto	11	Inbound	TWY D	
	Remoto	15	Outbound		
	Remoto	15	Inbound	TWY I	
	Remoto	29	Outbound		
	Remoto	29	Inbound	TWY A	
	Remoto	33	Outbound		
	Remoto	33	Inbound	TWY C	
	Terminal	11	Outbound		
	Terminal	11	Inbound	TWY D	
	Terminal	15	Outbound		
	Terminal	15	Inbound	TWY I	
	Terminal	29	Outbound		
	Terminal	29	Inbound	TWY A	
	Terminal	33	Outbound		
	Terminal	33	Inbound	TWY C	

Available Taxiways

CI
GA
IH
RA
TG
TH
TI
TWY A
TWY B
TWY C
TWY D
TWY E
TWY G
TWY H
TWY I

Add ->
<- Remove
Move Up
Move Down
For inbound Taxipaths, the first taxiway in the list represents the taxipath exit.

Taxiways in Taxipath

TG
TWY G
TWY B
TWY A
TWY C

FIGURA 12 – INTERFACE DO SOFTWARE EDMS PARA INSERÇÃO DAS ROTAS DE TAXIAMENTO

3.2.1.5 Configuração

As quantidades de pousos e decolagens nas cabeceiras 11, 15, 29 e 33 foram obtidas no SMAP e as porcentagens de uso calculadas utilizando o programa Excel.

3.2.1.6 Perfil de quarto de hora

As informações de perfil de quarto de hora foram obtidas a partir dos dados do SMAP, calculando os valores com o programa Excel. A média diária da quantidade de voos por cada quarto de hora foi calculada com os dados de todo o ano de 2015 e atribuído o valor 1 para o fragmento de hora com maior movimentação. Os demais valores foram distribuídos nessa escala, de acordo com suas contribuições.

3.2.2 Operação de Aeronaves

As informações de quantidade de ciclos LTOs no ano de 2015 foram obtidas através do SMAP e divididas por modelo de aeronave e pátios de embarque e desembarque utilizados após o pouso e antes da decolagem por meio do programa Excel.

Os dados foram inseridos no EDMS conforme interface de inserção das informações de aeronaves apresentada na FIGURA 13.

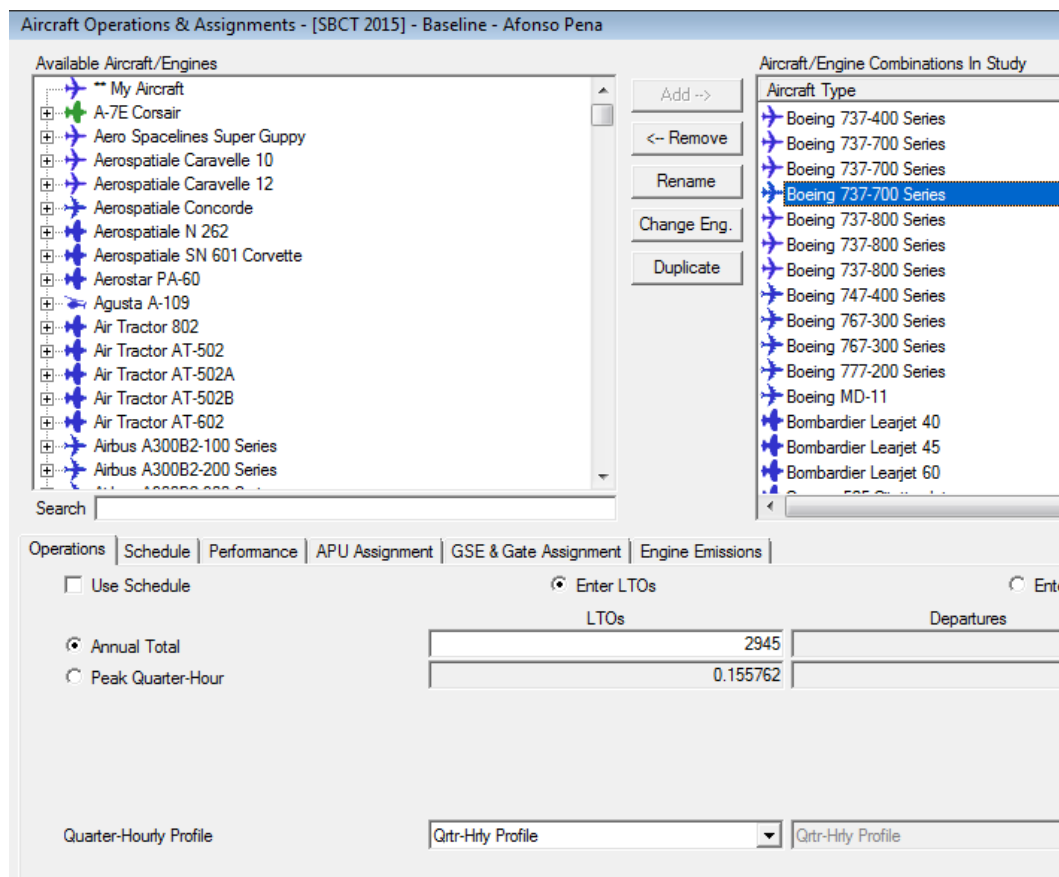


FIGURA 13 – INTERFACE DO SOFTWARE EDMS PARA INSERÇÃO DAS AERONAVES

Os dados de desempenho das aeronaves (tempos gastos nas fases de decolagem, subida, aproximação e pouso) foram utilizados os padrões do EDMS.

A opção de tempos padrões de taxiamento não foi utilizada.

As informações de tempo de utilização das APUs foram utilizadas os padrões do EDMS.

Aeronaves de asa rotativa, também denominadas helicópteros, não foram consideradas no presente estudo.

3.2.3 GSEs

Os dados de GSEs considerados foram os selecionados como padrão para cada modelo de aeronave no EDMS, com algumas alterações para adequar os dados à realidade de cada *gate* do Aeroporto Afonso Pena.

Todos os equipamentos de ar condicionado elétrico, trator de bagagem à gasolina e esteira de carga à gasolina foram substituídos por seus equivalentes movidos a óleo diesel.

Nos dados padrão do EDMS, alguns modelos de aeronave não contam com GPUs e caminhões de transporte de combustível. Uma vez que o aeroporto não possui ponto fixo de fornecimento de energia elétrica nas pontes de embarque, foi necessário incluir GPUs a diesel às aeronaves de médio e grande porte. Também foi necessário incluir caminhões de transporte de combustível para todas as aeronaves, uma vez que o aeroporto não conta com sistema de distribuição de querosene nas posições das aeronaves.

Os equipamentos considerados para as aeronaves nas posições dos pátios de embarque e desembarque terminal e concourse foram: ACU, unidade pneumática de partida do motor, trator rebocador, trator de bagagem, carregador esteira, caminhão de serviço de cabine, caminhão de fornecimento de alimento, caminhão de combustível, GPU, caminhão de água potável e caminhão de remoção de esgoto.

Os ônibus de transporte de passageiros para o embarque e desembarque nas aeronaves estacionadas nas posições localizadas no pátio remoto foram inseridos no EDMS como outros (*others*) com potência de 140 HP a diesel. As escadas para embarque e desembarque de passageiros no pátio remoto foram inseridas no EDMS.

Os GSEs utilizados para as aeronaves de transporte de passageiros no pátio de embarque e desembarque remoto foram: ACU, unidade pneumática de partida do

motor, trator rebocador, trator de bagagem, carregador esteira, caminhão de serviço de cabine, caminhão de fornecimento de alimento, caminhão de combustível, GPU, outros: ônibus de passageiros, caminhão de água potável, caminhão de remoção de esgoto, caminhão de serviço e escada para embarque de passageiro.

A relação de GSEs para as aeronaves de carga no pátio remoto teve a substituição das esteiras de carga por carregadores de carga a diesel. Equipamentos desnecessários para o transporte de cargas foram removidos, tais como caminhões de transporte de água e esgoto, caminhões de *catering*, ACU e GPU.

Os equipamentos padrão do *software* EDMS foram mantidos para atendimento às aeronaves de pequeno porte no pátio geral.

3.3 PROPOSTAS DE REDUÇÃO

As propostas de redução avaliadas no estudo foram a implantação das pistas de taxiamento J e K, bem como o fornecimento de energia elétrica nas pontes de embarque. Para o cálculo da redução de emissão foram criados dois cenários no *software* EDMS para o ano de 2015 no Aeroporto Afonso Pena caso fossem implantadas as respectivas medidas de redução.

3.3.1 Cenário 1: Fornecimento de Energia Elétrica nas Pontes de Embarque

O Aeroporto Afonso Pena não conta com sistemas de utilidades fixas, sendo que são utilizadas GPUs a diesel para fornecimento de energia elétrica e ACUs a diesel para dar suporte às aeronaves durante as etapas de embarque e

desembarque. A FIGURA 14 apresenta uma aeronave recebendo energia elétrica de uma GPU (à esquerda) e ar condicionado de uma ACU (à direita).



FIGURA 14 – UTILIZAÇÃO DE GPU E ACU A DIESEL NO AEROPORTO AFONSO PENA

O fornecimento de energia elétrica ao aeroporto é realizado através da rede pública pela concessionária local. O aeroporto conta com dois geradores de emergência para acionamento em casos de falha no abastecimento externo.

A frequência da rede elétrica adotada no terminal de passageiros do Aeroporto Afonso Pena é de 60 Hz, sendo necessária sua conversão para 400 HZ para a disponibilização de energia elétrica às aeronaves. Tal adequação deve ser realizada através de conversores de frequência que podem ser instalados nas próprias pontes de embarque.

Dentre as 14 pontes de embarque existentes no aeroporto, as 8 recém-implantadas possuem infraestrutura para recebimento de um conversor de frequência. Para as demais, seriam necessárias adequações, como a instalação de cabeamento e quadro de energia elétrica. A FIGURA 15 apresenta as pontes de embarque instaladas em 2015.



FIGURA 15 – PONTES DE EMBARQUE INSTALADAS EM 2015 COM INFRAESTRUTURA PARA RECEBER O CONVERSOR DE FREQUÊNCIA NO AEROPORTO AFONSO PENA

A disponibilização dos pontos de energia elétrica possibilitaria também a instalação de unidades fixas de ar condicionado elétricas.

A redução de emissões atmosféricas com a disponibilização de ponto fixo de fornecimento de energia elétrica às aeronaves durante o embarque e desembarque foi analisada com a criação do cenário 1 no *software* EDMS considerando tal sistema nos pátios Terminal e Concourse, ou seja, onde há pontes de embarque. Não foram considerados os pátios Remoto e Geral, pois não possuem infraestrutura para instalação dos conversores de frequência.

Os mesmos dados de infraestrutura e operações utilizado no inventário do ano de 2015 foram utilizados para criação do cenário 1, contudo, foram removidos os equipamentos GPUs e ACUs a diesel dos pátios terminal e concourse, os quais não seriam necessários com a implantação do sistema.

A redução final com a implantação foi calculada através da diferença das emissões oriundas de GSEs indicadas no inventário e no cenário 1, com a instalação de ponto fixo de fornecimento de energia elétrica às aeronaves.

O estudo não contemplou as emissões de CO₂ relacionadas à geração de energia elétrica adicional fornecida ao aeroporto pela empresa concessionária para suprir tal demanda, consideradas pelo *GHG Protocol* como escopo 2.

3.3.2 Cenário 2: Adequações no Sistema de Pistas de Taxiamento

No Aeroporto Afonso Pena existem possibilidades de implantação de duas pistas que poderiam reduzir o tempo de taxiamento das aeronaves.

As aeronaves que decolam a partir da cabeceira 15 necessitam, após percorrerem a pista de taxiamento C, realizar o resto da trajetória na própria pista de pouso e decolagem por uma distância de aproximadamente 400 metros, como demonstra a FIGURA 16.



FIGURA 16 – TRAJETO DE TAXIAMENTO ATUAL PARA DECOLAGEM NA CABECEIRA 15
FONTE: ADAPTADO DE GOOGLE EARTH (2016)

Essa característica do aeroporto gera um aumento no tempo médio de taxiamento das aeronaves nos horários de pico de movimento. Para que uma aeronave ingresse na pista de pouso e decolagem para chegar à cabeceira 15 é necessário esperar que a anterior tenha terminado seu próprio taxiamento e decolado.

A INFRAERO (2008) possui projetos para implantação de uma nova pista de taxiamento chamada K. Conforme FIGURA 17, tal pista ligaria a pista C diretamente à cabeceira 15, sem a necessidade da aeronave taxiar pela pista de pouso e decolagem.



FIGURA 17 – TRAJETO DE TAXIAMENTO PROPOSTO COM A PISTA DE TAXIAMENTO K PARA DECOLAGEM NA CABECEIRA 15
FONTE: ADAPTADO DE INFRAERO (2008); GOOGLE EARTH (2016)

Dessa forma, a implantação da pista de taxiamento K reduziria o tempo de espera nos horários de pico do aeroporto, diminuindo o tempo médio de taxiamento das aeronaves e a emissões de poluentes atmosféricos.

Após o pouso pela cabeceira 15, as aeronaves atualmente realizam o taxiamento até a cabeceira 33 para se direcionarem aos pátios de estacionamento,

conforme FIGURA 18. Caso existisse uma saída intermediária, não seria necessário o trajeto até a cabeceira 33 após o pouso.



FIGURA 18 – TRAJETO DE TAXIAMENTO ATUAL APÓS POUSO PELA CABECEIRA 15
FONTE: ADAPTADO DE GOOGLE EARTH (2016)

A saída pela cabeceira 33 exige que as aeronaves realizem uma curva fechada em baixa velocidade, prejudicando o fluxo de aeronaves nos horários de pico, uma vez que a próxima aeronave só pode decolar ou pousar quando a anterior tiver livrado a pista.

Conforme projetos da INFRAERO (2008), a implantação de uma pista de taxiamento chamada J permitiria a saída das aeronaves antes da cabeceira 33 direto para os pátios de aeronaves, conforme demonstra a FIGURA 19, reduzindo assim o trajeto em aproximadamente 350 metros.



FIGURA 19 – TRAJETO DE TAXIAMENTO PROPOSTO COM A PISTA DE TAXIAMENTO K APÓS POUSO PELA CABECEIRA 15
FONTE: ADAPTADO DE GOOGLE EARTH (2016)

Dessa forma, a implantação da pista J reduziria o percurso e tempo de taxiamento das aeronaves, diminuindo consequentemente a emissões de poluentes atmosféricos.

A redução de emissões atmosféricas com as adequações no sistema de pistas de taxiamento foi avaliada através do cenário 2, no qual considera a implantação das pistas K e J.

Tal como realizado por Zurich (2016a), foi calculada a redução de emissões de poluentes atmosféricos para cada um minuto a menos no tempo de taxiamento médio das aeronaves que operam no aeroporto.

Dessa forma, foi simulado no *software* EDMS um cenário com tempos médios de taxiamento para decolagem (*taxi out*) e taxiamento após o pouso (*taxi in*) fixados em um minuto cada, sem considerar as distâncias e tempos reais de taxiamento. Para tanto, os tempos de um minuto foram inseridos no campo *Default*

Taxi Times e foram removidas as informações de *gates*, *taxiways* e *runways* do cenário, mantendo-se todos os outros dados de operação inalterados.

Os valores de emissão por minuto obtidos foram identificados como fatores de emissão fe_{td} (t/min) para o taxiamento antes da decolagem e fe_{tp} (t/min) para o taxiamento após o pouso.

Em seguida foram calculadas as reduções nos tempos médios de taxiamento e espera que a implantação do cenário 2 proporcionaria ao aeroporto.

A implantação da pista K reduziria o tempo de taxiamento antes da decolagem pela cabeceira 15 conforme a distância entre o ponto de espera na pista de taxiamento C e a cabeceira 15, ou seja, o trajeto que a aeronave anterior precisa realizar antes que a seguinte possa ingressar na pista, o que gera a espera adicional.

O cálculo do tempo médio total do aeroporto de taxiamento antes da decolagem, ou seja, incluindo as operações nas demais cabeceiras, considerou que tal adequação impactaria proporcionalmente à porcentagem de uso da cabeceira 15 para decolagem. A necessidade da espera na pista de taxiamento C ocorre no aeroporto apenas nas operações em horários de pico, quando ocorrem decolagens consecutivas.

O tempo de espera t_K (min) foi calculado através do quociente da distância d (km) percorrida na pista de pouso e decolagem 15-33 entre o ponto de espera na pista de taxiamento C e a cabeceira 15 para a decolagem com a velocidade média de taxiamento de aeronaves padrão v (km/h) conforme *software* EDMS, multiplicado pela porcentagem de utilização da cabeceira 15 para decolagens u (%) e pela porcentagem de voos em horário de pico hp (%), conforme EQUAÇÃO 1.

$$t_K = (d / v) \times u \times hp \quad (1)$$

A implantação da pista J permitiria a redução do tempo de taxiamento após o pouso na cabeceira 15, conforme a distância do trajeto diminuída. O cálculo do tempo médio total do aeroporto de taxiamento após o pouso, ou seja, incluindo as operações nas demais cabeceiras, considerou que tal adequação impactaria proporcionalmente à porcentagem de uso da cabeceira 15 para pouso.

Dessa forma, para a pista J, o tempo t_J (min) foi calculado através do quociente da diferença das distâncias percorridas no taxiamento após o pouso pela cabeceira 15 no inventário $d1$ (km) e no cenário 1 $d2$ (km) com a velocidade média de taxiamento de aeronaves padrão v (km/h), conforme *software* EDMS, multiplicado pela porcentagem de utilização da cabeceira 15 para pousos u (%), como demonstra a EQUAÇÃO 2.

$$t_J = ((d1 - d2) / v) \times u \quad (2)$$

Os tempos de redução em minutos nos tempos médios de taxiamento antes da decolagem e após o pouso foram obtidos com tais cálculos.

A redução das emissões de poluentes atmosféricos com a implantação do cenário 2 Re_{C2} (t) calculado pela soma dos produtos dos tempos de redução no taxiamento com a pista J t_J (min) e de redução na espera com a pista K t_K (min) com os respectivos valores de fatores de emissão obtidos através do EDMS de massa por de poluentes gerados por minuto para as fases de taxiamento após pouso fe_{tp} (t/min) e antes da decolagem fe_{td} (t/min), conforme EQUAÇÃO 3.

$$Re_{C2} = (t_J \times fe_{tp}) + (t_K \times fe_{td}) \quad (3)$$

O valor das emissões totais com a implantação do cenário 2 foram obtidos através da subtração das emissões identificadas no inventário pela redução calculada Re_{C2} .

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos levantamentos, cálculos e simulações do presente trabalho, foi possível obter resultados de emissões atmosféricas do Aeroporto Afonso Pena no ano de 2015 apresentados no inventário.

Os valores de redução de emissões com a implantação do sistema de fornecimento de energia elétrica para as aeronaves nas posições de estacionamento, bem como adequações no sistema de taxiamento com a implantação das pistas J e K foram obtidos a partir dos resultados do inventário.

4.1 INVENTÁRIO

As informações operacionais obtidas no SMAP permitiram a geração de dados de entrada do EDMS para a execução do inventário. A TABELA 13 apresenta as porcentagens de uso das cabeceiras, informação inserida no item configuração do *software*.

TABELA 13 – PORCENTAGEM DE USO DAS CABECEIRAS DO AEROPORTO AFONSO PENA EM 2015

CABECEIRA	POUSOS	DECOLAGENS
11	0,42%	3,37%
15	62,82%	59,83%
29	0,31%	0,03%
33	36,45%	36,77%

A pista mais utilizada é a 15-33, representando 98% das 75.723 operações de pouso e decolagem realizadas no ano de 2015. A cabeceira 15 foi responsável por 59,83% das decolagens e 62,82% dos pousos realizados no aeroporto. Ações de redução de emissões de poluentes focadas na pista de pouso e decolagem 15-33, principalmente relacionadas às movimentações na cabeceira 15 apresentam maiores efeitos, uma vez que sua operação é responsável por maior volume de voos e consequentes emissões atmosféricas.

As informações inseridas no EDMS relativas ao perfil de movimentações são médias do ano de 2015 para cada quarto de hora obtidas dos dados do SMAP inseridas na escala adimensional de 0 a 1 e são apresentadas no GRÁFICO 1.

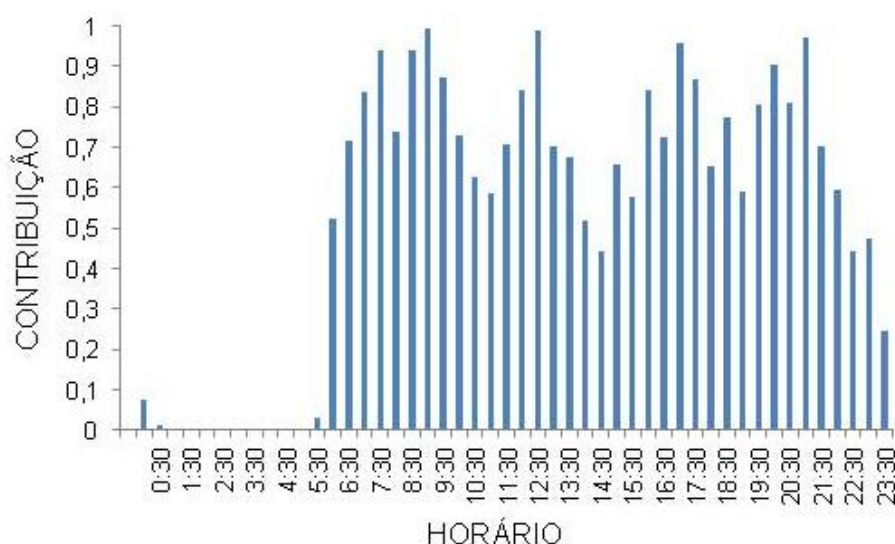


GRÁFICO 1 – PERFIL DAS MOVIMENTAÇÕES CONFORME CONTRIBUIÇÕES DOS HORÁRIOS

Os horários de pico do aeroporto, ou seja, quando há a maior quantidade de pousos e decolagens, foram observados 06h30 as 10h30, das 11h30 as 13h30, das 16h00 as 18h00 e das 19h30 as 21h30. As operações de aeronaves ocorridas nesses horários representaram 70% do total diário em 2015, com uma média anual entre 11 e 16 movimentações por hora.

Horários de pico são responsáveis por maior demora na etapa de taxiamento das aeronaves, fato que com o aumento da demanda no setor aéreo tende a piorar.

Ações para a redução de emissões de poluentes focadas em melhorar a operação em horários de pico são mais efetivas por atingir mais aeronaves e diminuir tempo de taxiamento. O incentivo a operações em horários alternativos é uma ação que pode mitigar os horários de picos e contribuir com a redução de emissões de poluentes atmosféricos pelas aeronaves.

O modelo de aeronave que mais utilizou o aeroporto em 2015 foi o EMBRAER 190, responsável por 27% das operações, seguido pelo Airbus 320 e Boeing 737-800, ambos representando 22% das movimentações totais, conforme resultados obtidos a partir dos dados do SMAP. As principais aeronaves operadas no Aeroporto Afonso Pena são de aviação comercial, devendo ser esse o foco de ações de redução de emissões.

O GRÁFICO 2 apresenta as principais aeronaves cargueiras que utilizaram o pátio remoto e os GRÁFICOS 3, 4, 5 e 6 apresenta as aeronaves de passageiros em cada pátio de embarque e desembarque. A lista completa de aeronaves é apresentada no apêndice 1.

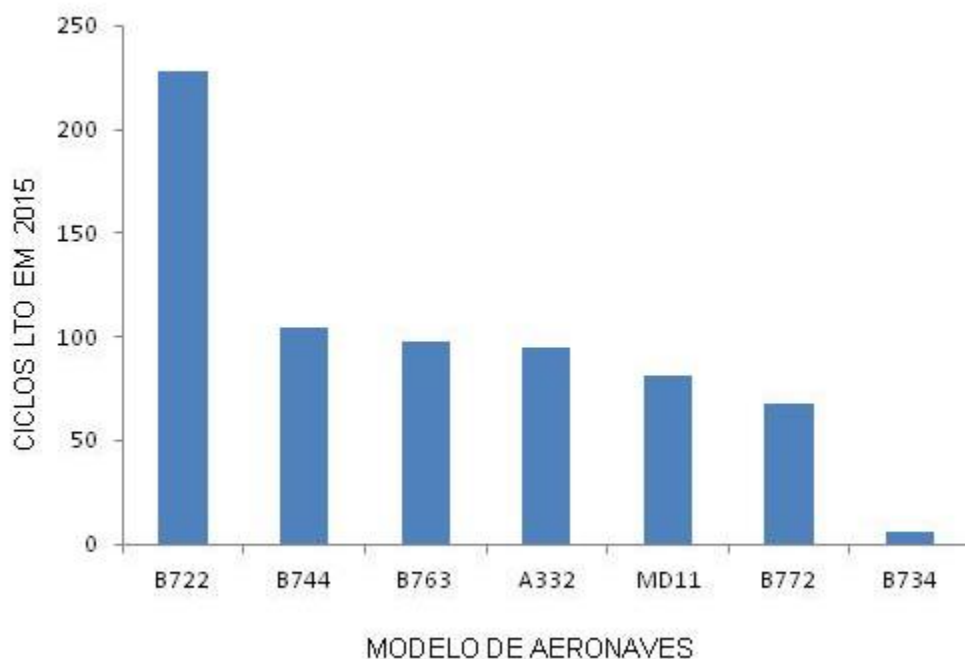


GRÁFICO 2 – AERONAVES DE CARGAS NO PÁTIO REMOTO EM 2015

No pátio remoto ocorreram todos os voos para transporte de cargas do aeroporto, caracterizados por aeronaves de grande porte, sendo o Boeing 722 o modelo mais utilizado. Esse tipo de aeronave, apesar de emitir mais poluentes atmosféricos, possui pouca contribuição nas emissões do aeroporto devido a sua pequena quantidade de operações.

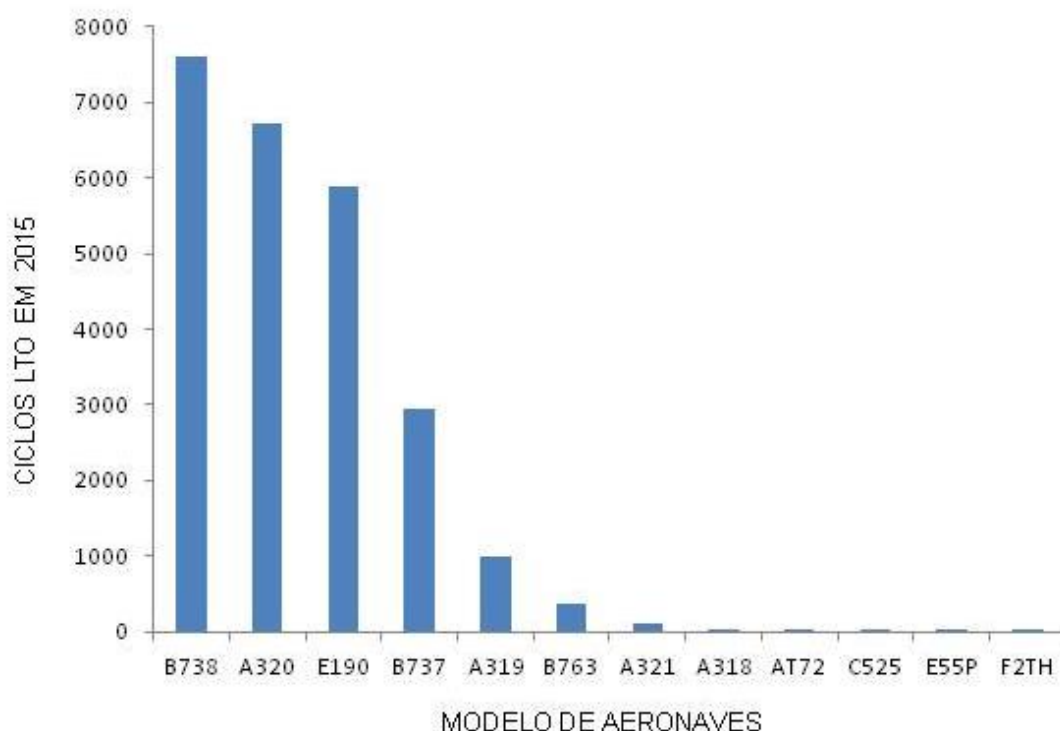


GRÁFICO 3 – AERONAVES DE PASSAGEIROS NO PÁTIO TERMINAL EM 2015

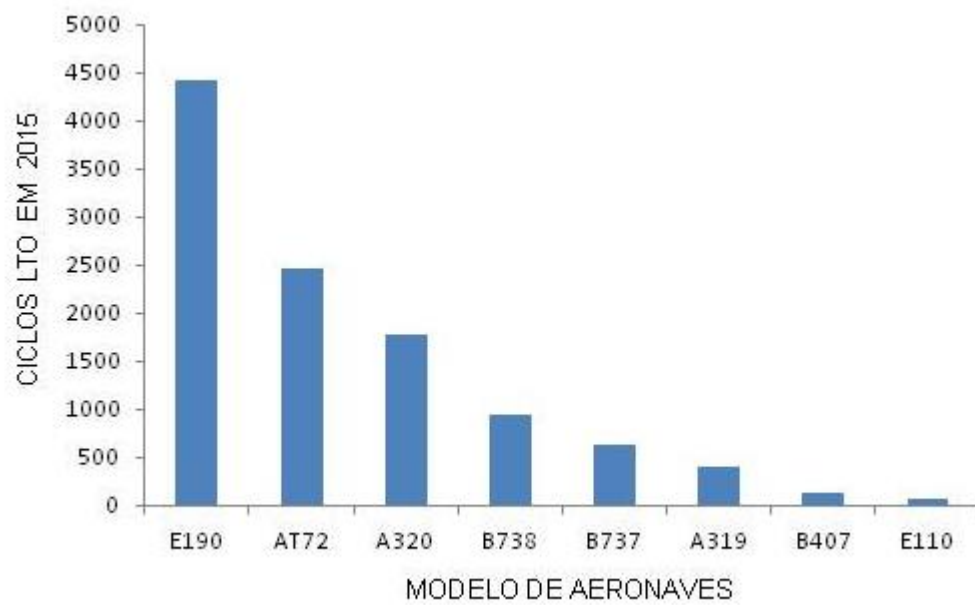


GRÁFICO 4 – AERONAVES DE PASSAGEIROS NO PÁTIO REMOTO EM 2015



GRÁFICO 5 – AERONAVES DE PASSAGEIROS NO PÁTIO GERAL EM 2015

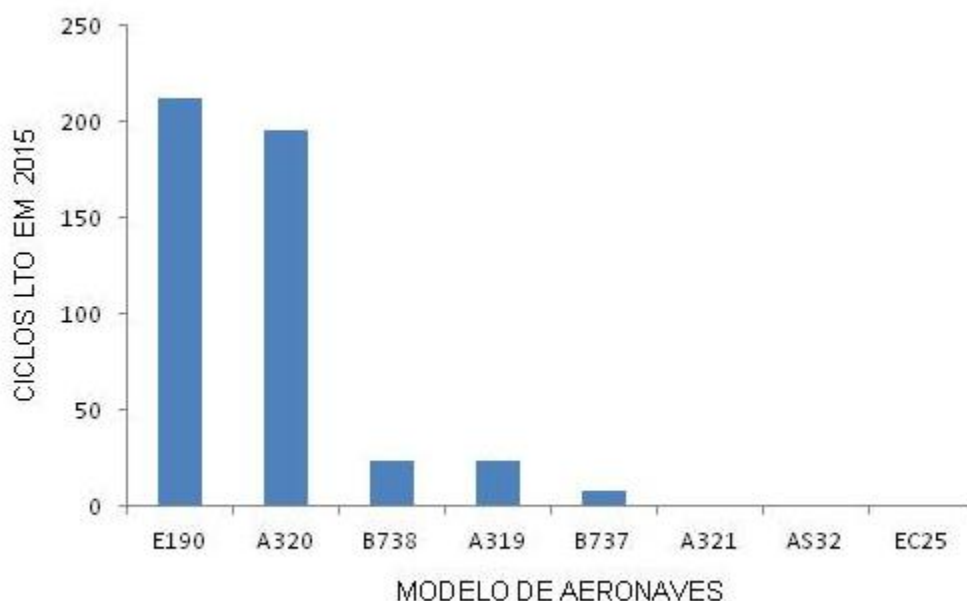


GRÁFICO 6 – AERONAVES DE PASSAGEIROS NO PÁTIO CONCOURSE EM 2015

A aviação regular para transporte de passageiros é o tipo de operação predominante no Aeroporto Afonso Pena, sendo o pátio terminal o mais utilizado. A implantação das pontes de embarque no pátio concourse no ano de 2015 poderá alterar o perfil do uso das posições de estacionamento e impactar na geração de emissões de poluentes atmosféricos na fase de taxiamento.

Os dados padrões do EDMS para o desempenho das aeronaves, ou seja, os tempos gastos nas fases de decolagem, subida, aproximação e pouso foram utilizados devido à ausência de informações mais precisas. Tais dados estão diretamente relacionados com os modelos das aeronaves e o aeroporto possui pouca influência sobre essas fases.

A APU é utilizada a critério do piloto, por ser um motor auxiliar de geração de energia elétrica para a aeronave, não havendo informações de tempos de utilização no Aeroporto Afonso Pena. Assim, foram utilizados os tempos padrões do *software* para cada aeronave.

O inventário, realizado utilizando o *software* EDMS, resultou na quantificação das emissões de cada poluente atmosférico no ano de 2015 relacionadas à operação de aeronaves e equipamentos de suporte de solo no Aeroporto Afonso Pena.

Na TABELA 14 são apresentados os valores totais de emissão inventariados no Aeroporto Afonso Pena no ano de 2015.

TABELA 14 – EMISSÕES NO AEROPORTO AFONSO PENA EM 2015

FONTE	CO ₂ (t/ano)	CO (t/ano)	COV (t/ano)	NO _x (t/ano)	SO _x (t/ano)	MP ₁₀ (t/ano)
AERONAVES	47.721,772	63,651	13,060	238,583	17,715	1,178
GSE	-	13,805	3,634	34,909	0,060	2,515
APU	-	6,526	0,615	10,529	1,440	1,149
TOTAL	47.721,772	83,982	17,310	284,021	19,215	4,842

Os valores apresentados na TABELA 14 são discutidos e comparados nos itens a seguir.

4.1.1 Comparação com a Região Metropolitana de Curitiba

As emissões do Aeroporto Afonso Pena representam menos de 1% das emissões totais geradas em toda a Região Metropolitana de Curitiba (RMC) relacionadas à indústria e aos veículos inventariadas no ano de 2013, conforme TABELA 15. A pequena contribuição do aeroporto em comparação com as demais fontes também foi observada em Hong Kong, conforme Environmental Protection Department (2016).

TABELA 15 – EMISSÕES DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA

POLUENTE	INDÚSTRIA 2013 ¹	VEICULAR 2013 ¹	AEROPORTO 2015
MP (t/ano)	10.564	1.563	4,842
SO _x (t/ano)	23.904	898	19,215
CO (t/ano)	34.078	132.991	83,982
NO _x (t/ano)	24.759	10.729	284,021

FONTE: ¹ADAPTADO DE GRAUER (2013)

Os valores de material particulado para indústria e veicular foram obtidos em MP total e nos cálculos para o aeroporto os resultados foram gerados em MP₁₀. Contudo, tendo em vista que, conforme EEA (2013) assume-se que as emissões de material particulado de aeronaves são MP₁₀, para fins comparativos, as emissões do aeroporto também foram consideradas MP total.

Quando comparadas as emissões com a área de ocupação das fontes, nota-se que as emissões do aeroporto ultrapassam às industriais e veiculares da Região Metropolitana de Curitiba, especialmente no que se refere ao poluente NO_x, conforme TABELA 16.

Tal resultado é esperado, uma vez que a Região Metropolitana de Curitiba é mais de 3 mil vezes maior que a do aeroporto, com as fontes posicionadas de maneira mais dispersa.

TABELA 16 – EMISSÕES DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA POR Km² DE OCUPAÇÃO DAS FONTES

POLUENTE	INDÚSTRIA E VEICULAR ¹	AEROPORTO
MP (t/ano.km ²)	0,731	0,925
SO _x (t/ano.km ²)	1,496	3,670
CO (t/ano.km ²)	10,076	16,039
NO _x (t/ano.km ²)	2,140	54,244

FONTE: ¹ADAPTADO DE GRAUER (2013)

Apesar de pequena em relação à região metropolitana como um todo, a contribuição do Aeroporto Afonso Pena ocorre de forma concentrada em pequena área, em comparação com o território da RMC, o que gera maior probabilidade de causar impactos locais. Não foi possível com o presente estudo avaliar impactos das emissões aeroportuárias, podendo ser tema de trabalhos futuros.

São José dos Pinhais não é atendido pela rede de monitoramento da qualidade do ar do estado do Paraná e não há no Inventário Estadual de Emissões Atmosféricas do Paraná informações específicas para o município. Cabe ao Estado avaliar a necessidade de monitoramento no município, considerando os empreendimentos potencialmente poluidores e o tráfego de veículos na região. Um maior conhecimento sobre a atual situação da qualidade do ar local poderá ser obtido caso sejam implantadas estações de monitoramento da qualidade do ar.

4.1.2 Comparação com Outros Aeroportos

O Aeroporto Afonso Pena possuiu no ano de 2015 uma movimentação de aproximadamente sete milhões de passageiros e 75 mil aeronaves, valor mais que cinco vezes menor que a média dos aeroportos considerados na revisão bibliográfica. Além de menor quantidade de operações, o Aeroporto Afonso Pena possui uma configuração mais modesta quando comparada, por exemplo, com o Aeroporto de Atlanta que possui cinco pistas de pouso e decolagem.

Estudos em aeroportos menores, mais compatíveis com o Afonso Pena, não foram encontrados na bibliografia, de forma que as comparações realizadas devem considerar diferenças de dimensionamento da infraestrutura e tipos de aeronaves utilizadas.

Os valores de emissões de poluentes do Aeroporto Afonso Pena em 2015 divididos por passageiro e por aeronave foram calculados para que se criem índices que permitem a comparação dos resultados com outros aeroportos, conforme TABELA 17.

TABELA 17 – EMISSÕES DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS NO AEROPORTO AFONSO PENA POR PASSAGEIRO E POR AERONAVE

POLUENTE	CO ₂	CO	HC	COV	NO _x	SO _x	MP ₁₀
Emissões totais (t)	47.721,772	83,982	17,145	17,310	284,021	19,215	4,842
Emissões por passageiro (g)	6.557,858	11,541	2,356	2,379	39,030	2,640	0,665
Emissões por aeronave (kg)	630,215	1,109	0,226	0,229	3,751	0,254	0,064

O índice de emissões por aeronave é mais confiável, uma vez que no montante das emissões contabilizam-se as aeronaves cargueiras, as quais não transportam passageiros. Entretanto, na ausência da informação baseada nas quantidades de voos, o valor por passageiros pode ser utilizado para comparações.

A TABELA 18 apresenta os índices de emissões por aeronaves em diferentes aeroportos fora do Brasil.

TABELA 18 – EMISSÕES DE POLUENTES POR AERONAVES EM DIFERENTES AEROPORTOS

POLUENTE	DENVER 2015 ¹	ISTAMBUL 2001 ²	ZURIQUE 2008 ³	MILÃO 2005 ⁴	ATLANTA 2000 ⁵	HONG KONG 2013 ⁶	CURITIBA 2015
CO ₂ (kg)	-	-	904,361	1.455,935	-	-	630,215
MP (kg)	1,064	-	0,036	0,089	0,155	0,153	0,064
SO _x (kg)	0,747	0,416	-	0,476	0,613	1,381	0,254
CO (kg)	33,791	14,848	4,924	9,194	6,835	8,491	1,109
NO _x (kg)	8,000	8,084	3,316	6,318	6,203	15,959	3,751
COV (kg)	2,337	-	-	3,740	1,247	1,483	0,229

FONTE: ADAPTADO DE ¹RICONDO & ASSOCIATES (2001); ¹DENVER'S DEPARTMENT OF AVIATION (2016); ²KESGIN (2006); ³ZURICH AIRPORT (2016a; 2016b); ⁴CASERINE *et. al.* (2008); ⁵UNAL *et. al.* (2005); ⁶ENVIRONMENTAL PROTECTION DEPARTMENT (2016).

O valor de material particulado no aeroporto de Zurique foi apresentado em MP total e nos demais aeroportos em MP₁₀. Entretanto, tendo em vista que,

conforme EEA (2013) assume-se que as emissões de material particulado de aeronaves são MP_{10} , para fins comparativos, as emissões dos demais aeroportos também foram consideradas MP total.

O Aeroporto de Denver se destaca dos demais analisados na emissão de CO e MP, o que caracteriza um maior tempo de taxiamento pelas aeronaves devido à configuração do aeroporto. O aeroporto se destaca dos demais, e principalmente do Aeroporto Afonso Pena, devido ao seu grande porte, contando com seis pistas de pouso e decolagem, todas maiores que 3.650 metros de comprimento, o que gera grandes tempos de taxiamento.

Os valores de emissões de MP e NO_x por aeronave no Aeroporto de Zurique foram os menores apresentados. Não foi possível no presente estudo identificar a causa, porém podem ser consideradas como hipótese a diferença de metodologia ou mesmo características particulares do aeródromo que não foram divulgadas na bibliografia.

Conforme se observa na TABELA 19 o inventário do Aeroporto Afonso Pena apresenta valores de emissões inferiores à média dos inventários analisados para todos os poluentes em estudo.

TABELA 19 – EMISSÕES ANUAIS DE POLUENTES POR AERONAVES NO AEROPORTO AFONSO PENA E A MÉDIA DE DIFERENTES AEROPORTOS

POLUENTE	MÉDIA	CURITIBA
CO ₂ (kg)	1.180,148	630,215
MP (kg)	0,289	0,064
SO _x (kg)	0,720	0,254
CO (kg)	12,745	1,109
NO _x (kg)	7,916	3,751
COV (kg)	2,174	0,229

O poluente emitido no Aeroporto Afonso Pena que mais se aproximou da média foi o CO₂ e o CO foi o composto cujas emissões mais se distanciaram, chegando a ser aproximadamente 11,5 vezes menor.

Características como o perfil de aeronaves e configurações dos sistemas de pistas são responsáveis por tais diferenças. O Aeroporto Afonso Pena possui pouca quantidade de voos internacionais, o que reduz a movimentação de aeronaves de maior porte que necessitam de mais combustível para seu ciclo LTO e geram consequentemente mais emissões.

A existência de apenas duas pistas de pouso e decolagem com grande predominância de uso da 15-33, mais próxima aos pátios, também colabora para menores valores de emissões, uma vez que o tempo de taxiamento e espera é reduzido.

A revisão bibliográfica não apresentou estudos similares realizados em aeroportos operacionalmente equivalentes ao Afonso Pena, o que demonstra que o tema ainda se restringe a aeroportos de grande porte com maior importância no cenário internacional.

Os inventários utilizaram diferentes anos base, metodologias e tipos de fontes para o cálculo de suas emissões. A melhoria na eficiência de motores de aeronaves devido à evolução da tecnologia não pôde ser avaliada, pois o banco de dados utilizado não possui informações sobre o ano de fabricação dos equipamentos. Apesar da vida útil das aeronaves ser grande e um mesmo equipamento permanecer ativo por décadas, observa-se que o modelo de aeronave mais utilizado no Aeroporto Afonso Pena foi o Embraer 190, criado nos anos 2000 e considerado novo e menos poluente em relação à frota existente.

A maioria dos inventários em comparação consideraram todas as fontes relacionadas pela OACI (2011) ou não especificaram a abrangência. A diferença temporal pode gerar uma diferença entre tecnologias das frotas das aeronaves nos aeroportos comparados.

A TABELA 20 apresenta os índices de emissões por passageiros em diferentes aeroportos fora do Brasil.

TABELA 20 – EMISSÕES ANUAIS POR PASSAGEIRO EM DIFERENTES AEROPORTOS

POLUENTE	DENVER 2015 ¹	ISTAMBUL 2001 ²	ZURIQUE 2008 ³	HONG KONG 2013 ⁴	REINO UNIDO 2005 ⁵	CURITIBA 2015
CO ₂ (g)	-	-	11.253	-	12.023	6.558
MP (g)	10,785	-	0,453	0,948	-	0,665
SO _x (g)	7,577	5,147	-	8,531	3,759	2,640
CO (g)	342,608	183,779	61,269	52,449	58,369	11,541
NO _x (g)	81,114	100,052	41,268	98,578	50,886	39,030
COV (g)	23,693	-	-	9,163	-	2,379

FONTE: ¹ADAPTADO DE RICONDO & ASSOCIATES (2001); ¹DENVER'S DEPARTMENT OF AVIATION (2016); ²KESGIN (2006); ³ZURICH AIRPORT (2016a; 2016b); ⁴ENVIRONMENTAL PROTECTION DEPARTMENT (2016); ⁵YIM, STETTLER e BARRETT (2013).

O Aeroporto de Denver se destaca dos demais na emissão de CO e MP, tal como os índices de emissão por aeronave.

A TABELA 21 apresenta a comparação entre as emissões por passageiro entre o Aeroporto Afonso Pena e a média dos demais aeroportos analisados.

TABELA 21 – EMISSÕES ANUAIS DE POLUENTES POR PASSAGEIROS NO AEROPORTO AFONSO PENA E A MÉDIA DE DIFERENTES AEROPORTOS

POLUENTE	MÉDIA	CURITIBA
CO ₂ (g)	11.638	6.558
MP (g)	4,098	0,665
SO _x (g)	6,272	2,640
CO (g)	140,389	11,541
NO _x (g)	74,544	39,030
COV (g)	16,548	2,379

Os resultados obtidos na comparação entre as emissões por passageiros do Aeroporto Afonso Pena e a média dos demais aeroportos em estudo são similares aos índices de emissões por aeronaves, incluindo as mesmas incertezas devido às diferenças entre os estudos.

O Aeroporto Afonso Pena também apresenta índices abaixo da média quando comparado com a realidade brasileira, com exceção ao material particulado, conforme se observa nas TABELAS 22 e 23.

TABELA 22 – EMISSÕES ANUAIS DE POLUENTES POR PASSAGEIRO NO BRASIL E NO AEROPORTO AFONSO PENA

POLUENTE	BRASIL ¹	AFONSO PENA
MP (g)	0,275	0,665
SO _x (g)	5,403	2,640
CO (g)	60,440	11,541
NO _x (g)	100,733	39,030
COV (g)	5,952	2,379

FONTE: ¹ADAPTADO DE ANAC (2014a; 2014b)

TABELA 23 – EMISSÕES ANUAIS DE POLUENTES POR AERONAVE NO BRASIL E NO AEROPORTO AFONSO PENA

POLUENTE	BRASIL ¹	AFONSO PENA
MP (kg/ano)	0,028	0,064
SO _x (kg/ano)	0,543	0,254
CO (kg/ano)	6,072	1,109
NO _x (kg/ano)	10,120	3,751
COV (kg/ano)	0,598	0,229

FONTE: ¹ADAPTADO DE ANAC (2014a; 2014b)

Assim como em comparação com os aeroportos fora do país em análise, o Aeroporto Afonso Pena não possui grandes quantidades de voos internacionais e nem os maiores valores de tempos de taxiamento de aeronaves, o que faz com que suas emissões de poluentes sejam menores.

Segundo a ANAC (2014b) o tempo médio total de taxiamento no Aeroporto Afonso Pena é de 15 minutos. Aeroportos que concentram grande parte da aviação nacional e internacional do país como o de Guarulhos, Galeão e Brasília apresentam tempos médios de taxiamento de 21 minutos, 22,4 minutos e 22,7 minutos respectivamente, gerando maiores quantidade de emissões e elevando a média de poluentes por passageiros e por aeronaves do Brasil.

O inventário do Aeroporto Afonso Pena considerou os GSEs, que emitem maior quantidade de material particulado que as aeronaves, de forma a elevar as quantidades anuais acima dos índices do inventário nacional, o qual não considerou tais equipamentos.

As emissões do poluente CO₂ não foram comparadas, pois o estudo da ANAC (2014b) considerou as emissões de todas as fases de voo das aeronaves para esse poluente, inclusive em cruzeiro, e o presente inventário apenas calculou as contribuições durante o ciclo LTO.

O CO₂ é um poluente de impacto global, tendo as emissões em altitude elevada impactos semelhantes às da superfície. Assim, a metodologia adotada pela ANAC (2014b) mostra-se mais eficiente no cálculo desse poluente. Contudo, dessa forma, não é possível associar as referidas emissões a um aeroporto específico, pois os aeródromos não possuem qualquer influência nas operações acima dos 3.000 pés de altitude.

4.1.3 Comparação Entre Fontes e Fases de Voo

No Aeroporto Afonso Pena as principais fontes de emissão de poluentes atmosféricos são as aeronaves, com exceção ao material particulado, cuja principal fonte são os GSEs, conforme TABELA 24.

O EDMS não possui fatores de emissão para CO₂ de GSEs e APUs, de forma que as únicas emissões contabilizadas desse gás foram dos motores principais das aeronaves no ciclo LTO.

TABELA 24 – PORCENTAGENS DE EMISSÕES NO AEROPORTO AFONSO PENA EM 2015

FONTE	CO (%)	COV (%)	NO _x (%)	SO _x (%)	MP ₁₀ (%)
AERONAVES	75,79%	76,58%	75,45%	84,00%	92,19%
GSE	16,44%	19,81%	20,99%	12,29%	0,31%
APU	7,77%	3,60%	3,55%	3,71%	7,49%

As emissões de material particulado pelos GSEs possuem relação com a utilização do diesel e eficiência dos motores, possuindo maiores fatores de emissão do poluente por massa de combustível. Dessa forma, há potencial de redução dessas emissões com a utilização de utilidades fixas.

A implantação de oito pontes de embarque em dezembro de 2015 reduzirá a utilização do pátio remoto para estacionamento de aeronaves de passageiros nos próximos anos. Tal cenário resultará na menor utilização de ônibus movidos à diesel e a consequente redução nas emissões de poluentes atmosféricos por parte dos GSEs.

As aeronaves geram suas emissões nas diferentes fases do ciclo LTO. A TABELA 25 apresenta os valores de emissão de aeronaves em 2015 associadas a cada fase do ciclo LTO.

TABELA 25 – EMISSÕES NO AEROPORTO AFONSO PENA NAS DIFERENTES FASES DE VOO DAS AERONAVES

FASE	CO ₂ (t/ano)	CO (t/ano)	COV (t/ano)	NO _x (t/ano)	SO _x (t/ano)	MP ₁₀ (t/ano)
TAXI IN	4702,464	21,07	1,803	9,262	1,743	0,077
TAXI OUT	3634,454	23,217	1,954	4,255	1,346	0,06
TAKE OFF	21.176,880	5,283	0,663	147,999	7,863	0,692
APPROACH	10.264,200	12,347	0,815	26,733	3,808	0,126
CLIMB OUT	78.215,298	1,743	0,205	50,330	2,947	0,218

As fases de decolagem (*take off*) e de subida até 3.000 pés (*climb out*) são responsáveis pela maior contribuição de CO₂ e NO_x. Em tais etapas os motores principais das aeronaves operam com alta potência, melhorando a eficiência da combustão, o que reduz a emissão de subprodutos poluentes como o CO e compostos orgânicos do combustível que não foram queimados.

As maiores emissões de CO e COV ocorrem durante as etapas de taxiamento, quando o motor opera com baixa potência e baixa eficiência na combustão. Dessa forma, medidas de redução focadas nessa fase do ciclo LTO são importantes ferramentas para diminuir as quantidades desses poluentes.

A TABELA 26 apresenta as porcentagens de emissões de poluentes pelas aeronaves durante as fases de taxiamento e as demais.

TABELA 26 – PORCENTAGENS DE EMISSÕES NO AEROPORTO AFONSO PENA PELAS AERONAVES NAS FASES DE TAXIAMENTO E DEMAIS

FASE	CO ₂ (%)	CO (%)	COV (%)	NO _x (%)	SO _x (%)	MP ₁₀ (%)
TAXIAMENTO	7%	70%	69%	6%	17%	12%
OUTRAS	93%	30%	31%	94%	83%	88%

O estudo atendeu o objetivo de inventariar as emissões de poluentes atmosféricos das aeronaves e GSEs no Aeroporto Afonso Pena, o que permitiu

realizar as comparações com outros aeroportos e com a Região Metropolitana de Curitiba, além de fornecer subsídios para embasar as propostas de redução.

O *software* EDMS é uma ferramenta confiável com um bom banco de dados, porém possui pouca praticidade em sua aplicação. A inserção de dados de modelos de aeronaves para cada pátio é um trabalho prolongado que poderia ser evitado caso o programa possuísse a opção de carregar um banco de dados previamente preparado pelo usuário.

4.2 PROPOSTAS DE REDUÇÃO

No cenário 1 foi calculada a redução das emissões de poluentes atmosféricos com o fornecimento de energia elétrica em pontos fixos das pontes de embarque.

A TABELA 27 apresenta os valores de emissão de GSEs inventariados em 2015, os valores de emissão de GSEs para 2015 caso tivesse sido implantado o cenário 1, a redução equivalente à implantação e a contribuição desse valor em comparação com o total de GSEs do inventário em porcentagem.

O cenário apresentou uma redução de compostos orgânicos voláteis, óxidos de nitrogênio e material particulado maior que 40% nas emissões de GSEs. Não houve diferença significativa nas emissões dos óxidos de enxofre uma vez que o *software* EDMS possui em seu banco de dados fatores de emissão para GPUs e ACUs a diesel consideravelmente inferiores em relação aos outros poluentes. O *software* EDMS foi desenvolvido nos Estados Unidos da América, podendo haver diferenças no teor de enxofre no óleo diesel para a realidade brasileira.

TABELA 27 – REDUÇÃO DE EMISSÕES DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS DE GSEs COM A IMPLANTAÇÃO DO CENÁRIO 1

CENÁRIO	CO (t/ano)	COV (t/ano)	NO _x (t/ano)	SO _x (t/ano)	MP ₁₀ (t/ano)
INVENTÁRIO	13,805	3,634	34,909	0,060	2,515
CENÁRIO 1	9,690	2,170	19,657	0,060	1,396
REDUÇÃO	4,115	1,464	15,252	0,000	1,119
REDUÇÃO (%)	29,808%	40,286%	43,691%	0,000%	44,493%

A instalação de ponto de fornecimento fixo de energia elétrica e ar condicionado nas pontes de embarque geram redução significativa de emissão de poluentes atmosféricos e deve ser avaliada a viabilidade pelo administrador do aeroporto.

A utilização da infraestrutura poderia ser comercializada em forma de serviço às companhias aéreas, que hoje já possuem custos com a terceirização dos GPUs e ACUs ou arcam com os gastos de manutenção e abastecimento dos seus próprios equipamentos.

A implantação da medida é benéfica para a redução na emissão de poluentes e financeiramente para o operador do aeródromo, para as companhias aéreas e consequentemente para o cliente final, o passageiro.

No cenário 2 foi calculada a redução das emissões de poluentes atmosféricos com a adequação do sistema de pistas de taxiamento com a implantação das pistas de taxiamento J e K.

A redução de emissões de poluentes atmosféricos para cada minuto a menos no taxiamento das aeronaves no Aeroporto Afonso Pena é apresentada na TABELA 28.

TABELA 28 – REDUÇÃO DE EMISSÕES DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS PARA CADA MINUTO A MENOS NO TAXIAMENTO NO AEROPORTO AFONSO PENA

FASE	CO ₂ (t/ano-min)	CO (t/ano-min)	COV (t/ano-min)	NO _x (t/ano-min)	SO _x (t/ano-min)	MP ₁₀ (t/ano-min)
TAXI IN	476,459	2,091	0,021	0,831	0,176	0,000
TAXI OUT	1.356,352	8,697	0,739	1,586	0,502	0,022

Os fatores de emissão durante a etapa de taxiamento antes da decolagem são maiores que após o pouso. A eficiência dos motores das aeronaves nas etapas de taxiamento é menor antes da decolagem, pois não estão aquecidos a uma temperatura ideal para a combustão completa. Além disso, o esforço dos motores para iniciar o movimento das aeronaves consome mais combustível e gera mais poluentes.

Os valores de redução por ano para cada minuto a menos no taxiamento no Aeroporto Afonso Pena são menores que os apresentados por Zurich Airport (2016). Tal resultado era esperado, pois o aeroporto suíço possui uma movimentação de aeronaves superior com maior quantidade de voos internacionais.

Na TABELA 29 são apresentados os dados para o cálculo da redução no tempo médio de taxiamento após o pouso no aeroporto com a implantação da pista J e o resultado de 0,474 minutos.

TABELA 29 – REDUÇÃO NO TEMPO DE TAXIAMENTO COM A IMPLANTAÇÃO DA PISTA J

REDUÇÃO DISTÂNCIA (km)	VELOCIDADE MÉDIA (km/h)	REDUÇÃO TEMPO NO TRAJETO (h)	UTILIZAÇÃO DO TRAJETO %	REDUÇÃO TEMPO TOTAL (min)
0,350	27,780	0,013	62,8	0,474

Na TABELA 30 são apresentados os dados para o cálculo da redução no tempo médio de taxiamento antes da decolagem no aeroporto com a implantação da pista K e o resultado de 0,362 minutos.

TABELA 30 – REDUÇÃO NO TEMPO DE TAXIAMENTO COM A IMPLANTAÇÃO DA PISTA K

DISTÂNCIA DE ESPERA (km)	VELOCIDADE MÉDIA (km/h)	REDUÇÃO TEMPO DE ESPERA (h)	UTILIZAÇÃO DO TRAJETO %	HORÁRIO DE PICO %	REDUÇÃO TEMPO TOTAL (min)
0,400	27,780	0,014	59,8	70,0	0,362

As reduções de emissões de poluentes no *taxi in* com a implantação da pista J e no *taxi out* com a pista K, bem como o total de reduções com o cenário 2 são apresentadas na TABELA 31.

TABELA 31 – REDUÇÃO DE EMISSÕES DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS DE AERONAVES NAS DIFERENTES FASES DE TAXIAMENTO COM A IMPLANTAÇÃO DO CENÁRIO 2

FASE	CO ₂ (t/ano)	CO (t/ano)	COV (t/ano)	NO _x (t/ano)	SO _x (t/ano)	MP ₁₀ (t/ano)
TAXI IN	226,189	0,993	0,010	0,395	0,084	0,000
TAXI OUT	490,735	3,147	0,267	0,574	0,182	0,008
TOTAL	716,924	4,139	0,277	0,968	0,265	0,008

A TABELA 32 apresenta os valores de emissão nas fases de taxiamento de aeronaves inventariados em 2015, os valores de emissão de taxiamento para 2015 caso tivesse sido implantado o cenário 2, a redução equivalente à implantação e a contribuição desse valor em comparação com o total de taxiamento do inventário em porcentagem.

TABELA 32 – REDUÇÃO DE EMISSÕES DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS DE AERONAVES NAS FASES DE TAXIAMENTO COM A IMPLANTAÇÃO DO CENÁRIO 2

	CO ₂ (t/ano)	CO (t/ano)	COV (t/ano)	NO _x (t/ano)	SO _x (t/ano)	MP ₁₀ (t/ano)
TAXIAMENTO INVENTÁRIO	8.336,918	44,287	3,757	13,517	3,089	0,137
TAXIAMENTO CENÁRIO 2	7.619,994	40,148	3,480	12,549	2,824	0,129
REDUÇÃO (t)	716,924	4,139	0,277	0,968	0,265	0,008
REDUÇÃO (%)	8,599%	9,346%	7,382%	7,164%	8,585%	5,810%

As maiores reduções com a implantação do cenário 2 são referentes ao dióxido de carbono, monóxido de carbono e aos óxidos de enxofre, próximas a 9 %. Os principais poluentes a serem reduzidos com a implantação do cenário 1 e 2 são opostos, ou seja, podem ser utilizados complementarmente para a redução de todos poluentes inventariados.

Na TABELA 33 é feita a comparação entre as reduções dos cenários e suas contribuições com o total inventariado em 2015. A redução mais significativa é do material particulado, principalmente com a implantação do sistema de fornecimento fixo de energia elétrica às aeronaves, evitando o uso dos GPUs e ACUs, equipamentos com altas emissões desse poluente. Tal cenário ainda é responsável pela maior parte da redução de 10% dos compostos orgânicos e hidrocarbonetos e de 5,7% dos óxidos de nitrogênio.

Ambos cenários contribuiriam em quantidades similares na redução das emissões de monóxido de carbono, em um total de aproximadamente 10%. O cenário 2 apresenta as principais reduções dos óxidos de enxofre e de dióxido de carbono, que no total se aproximam de 1,5%.

TABELA 33 – REDUÇÃO DE EMISSÕES DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS COM A IMPLANTAÇÃO DOS CENÁRIOS 1 E 2

	CO ₂ (t/ano)	CO (t/ano)	COV (t/ano)	NO _x (t/ano)	SO _x (t/ano)	MP ₁₀ (t/ano)
INVENTÁRIO TOTAL	47.721,772	83,982	17,310	284,021	19,215	4,842
REDUÇÃO CENÁRIO 1	-	4,115	1,464	15,252	0,000	1,119
REDUÇÃO CENÁRIO 2	716,924	4,139	0,277	0,968	0,265	0,008
REDUÇÃO TOTAL	716,924	8,254	1,741	16,220	0,265	1,127
REDUÇÃO TOTAL (%)	1,502%	9,829%	10,060%	5,711%	1,380%	23,275%

Os GRÁFICOS 7, 8, 9, 10, 11 e 12 apresentam a contribuição de cada cenário para a redução total calculada no estudo em comparação com o valor inventariado para cada poluente.

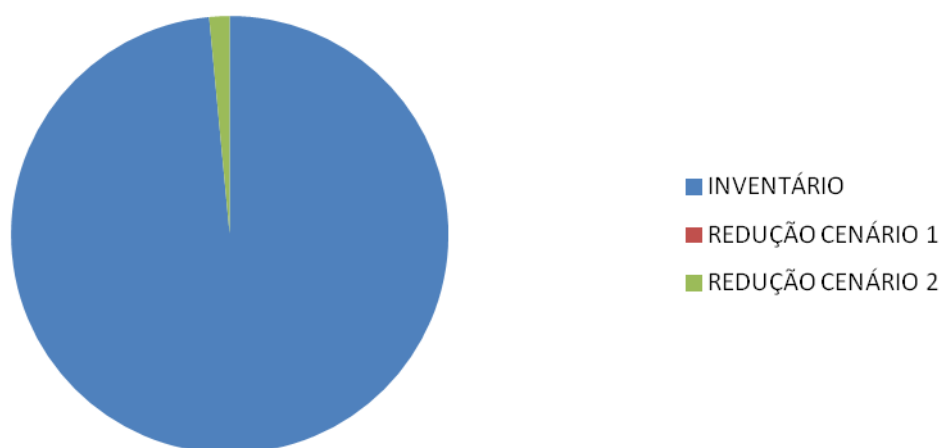


GRÁFICO 7 – REDUÇÃO DE CO₂ COM A IMPLANTAÇÃO DOS CENÁRIOS 1 E 2

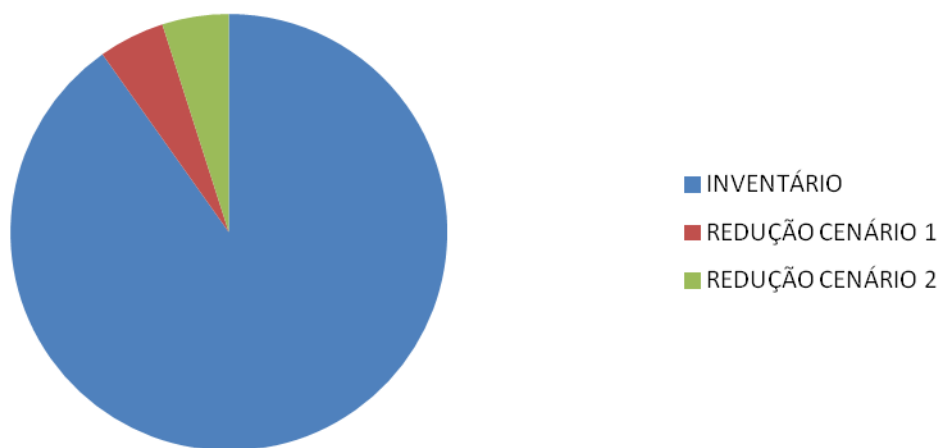


GRÁFICO 8 – REDUÇÃO DE CO COM A IMPLANTAÇÃO DOS CENÁRIOS 1 E 2

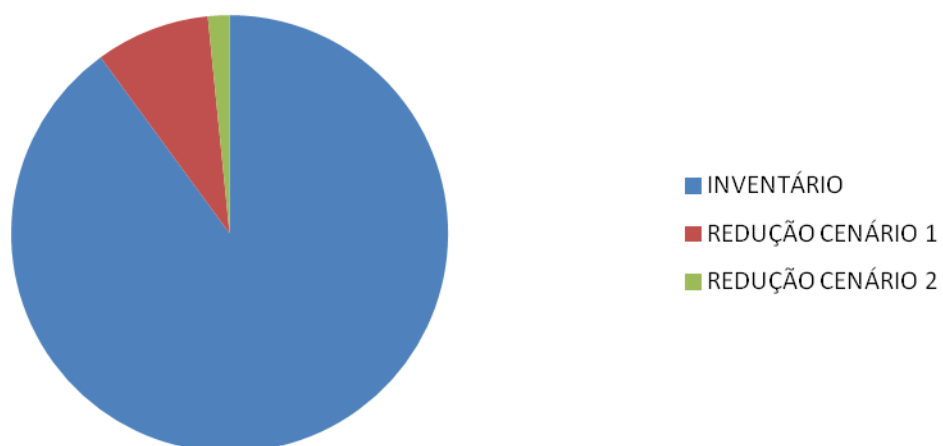


GRÁFICO 9 – REDUÇÃO DE COV COM A IMPLANTAÇÃO DOS CENÁRIOS 1 E 2

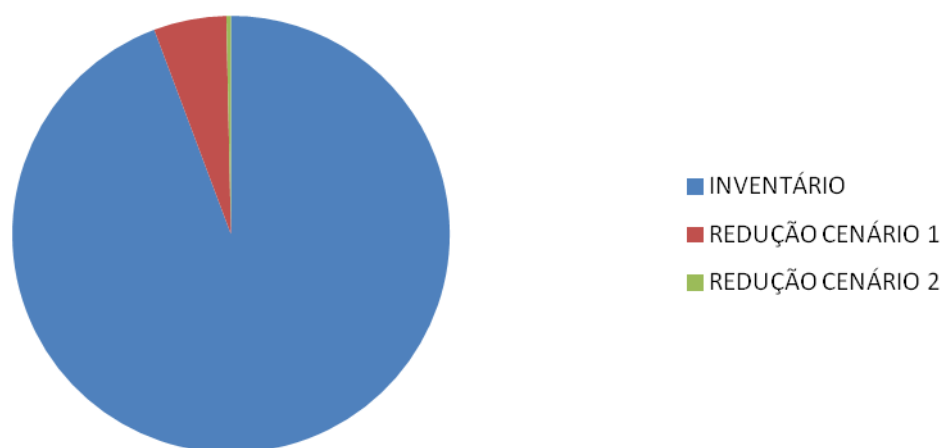


GRÁFICO 10 – REDUÇÃO DE NO_x COM A IMPLANTAÇÃO DOS CENÁRIOS 1 E 2

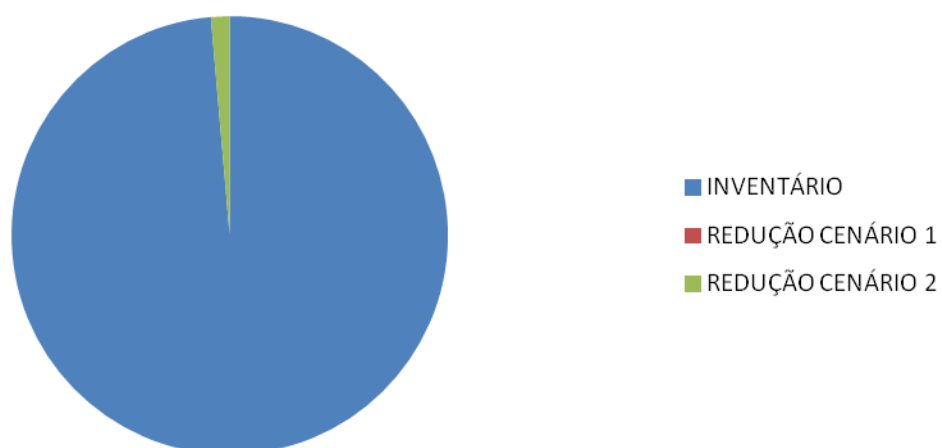


GRÁFICO 11 – REDUÇÃO DE SO_x COM A IMPLANTAÇÃO DOS CENÁRIOS 1 E 2

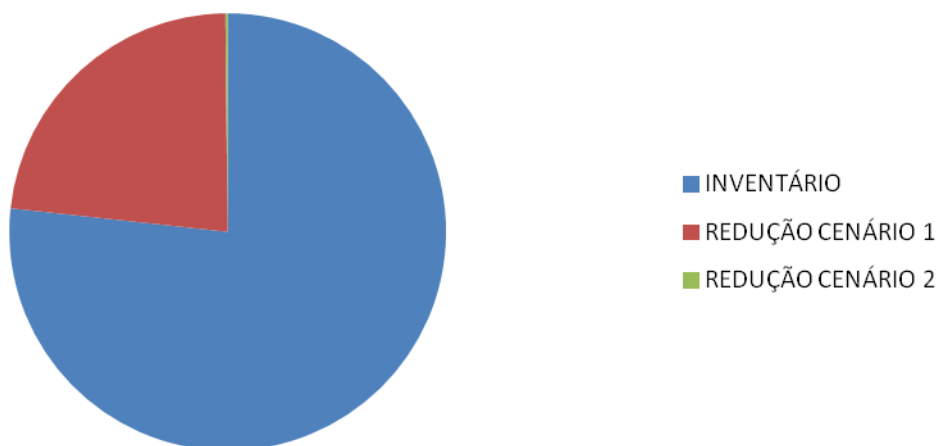


GRÁFICO 12 — REDUÇÃO DE MP₁₀ COM A IMPLANTAÇÃO DOS CENÁRIOS 1 E 2

As propostas apresentam uma redução significativa dos principais poluentes, ambas tendo como fundamento a diminuição na queima de combustível, seja das aeronaves ou dos equipamentos de suporte em solo.

A disponibilização de energia elétrica e ar condicionado nas pontes de embarque são tecnologias utilizadas há décadas no setor aeroportuário internacional, sendo que os equipamentos são consolidados e estão disponíveis no mercado, sem a necessidade de experimentos e pesquisas aprofundadas para colocar em funcionamento. Outras utilidades fixas como o fornecimento de combustível, água de abastecimento, remoção de esgoto e transporte de resíduos também contribuem para diminuir as emissões atmosféricas.

A implantação de novas pias de taxiamento demanda custos e deve seguir normas específicas da OACI e ANAC, sendo que a sua viabilidade deve ser estudada considerando fatores econômicos, operacionais, entre outros. Do ponto de vista ambiental a ação mostrou-se benéfica, reduzindo consideravelmente as emissões atmosféricas.

Além da redução dos poluentes atmosféricos, as propostas proporcionam outros benefícios associados, tais como a diminuição no consumo de recursos naturais, ganhos econômicos, melhoria operacional com maior fluidez de aeronaves e no atendimento à sociedade.

Investimentos em infraestrutura aeroportuária melhoram o atendimento à demanda de transporte aéreo, fomentando outros setores na região, como a indústria e o turismo que se beneficiam diretamente com oportunidades de desenvolvimento da aviação tanto de transporte de passageiros quanto de cargas.

As tendências do cenário da aviação civil nacional são incertas, apesar do crescimento do setor observado nos anos 2000. O Aeroporto Afonso Pena passou por obras de reforma e ampliação, de forma a possuir uma capacidade para atendimento a aeronaves e passageiros bem superior à movimentação observada em 2015. Porém, a atual situação da economia brasileira demonstra pessimismo no setor, de forma a sinalizar uma estagnação no crescimento da demanda pelo transporte aéreo.

As emissões de poluentes no Aeroporto Afonso Pena, considerando o cenário de 2016 e próximos anos, não tendem a crescer significativamente, com leves alterações devido à operação das pontes de embarque implantadas em 2015 e alterações nas escalas de voo, conforme demanda das companhias aéreas.

Um possível crescimento na quantidade de voos aumentaria a demanda no uso de GSEs e o consequente aumento nas emissões de poluentes atmosféricos, em especial o material particulado. A implantação de ponto de fornecimento fixo de energia elétrica e ar condicionado nas pontes de embarque mitigariam esse acréscimo proporcionalmente, conforme demonstrado no cenário 1.

O aumento na quantidade de voos ampliaria os horários de pico do aeroporto, podendo agravar o congestionamento de aeronaves e o a consequente emissão de poluentes devido à ausência da pista de taxiamento K. Em um possível cenário de aumento de demanda, a implantação das pistas de taxiamento mostram-se importantes para a fluidez desse tráfego, mitigando o crescimento nas emissões proporcionados pelo aumento de aeronaves ou agravados devido aos gargalos do atual sistema.

5 CONCLUSÃO

O inventário de emissões de poluentes atmosféricos no Aeroporto Afonso Pena, realizado através do software EDMS, se mostrou uma boa ferramenta para se conhecer e quantificar as fontes aeroportuárias existentes e embasar propostas que reduzam as respectivas contribuições.

Considerando o montante das fontes de poluentes atmosféricos provenientes da indústria e veículos existentes na Região Metropolitana de Curitiba, as contribuições do Aeroporto Afonso Pena inventariadas são centenas ou milhares de vezes menores, dependendo do poluente. Porém, as emissões por área ocupada pelo aeroporto são superiores que das demais fontes citadas, em especial do NO_x , poluente precursor do O_3 , o que o caracteriza como um empreendimento importante para a qualidade do ar local, justificando futuros estudos de impactos nas regiões vizinhas.

O Aeroporto Afonso Pena apresenta índices de emissão por aeronave e por passageiro menores que a média, quando comparado a alguns aeroportos internacionais e ao panorama brasileiro. A pouca quantidade de voos internacionais e as distâncias de taxiamento menores em comparação com os aeroportos que concentram grande parcela da aviação são fatores que influenciam diretamente tais índices.

As principais fontes do aeroporto são as operações das aeronaves, sendo o taxiamento a fase responsável pela maior parte das emissões de monóxido de carbono e compostos orgânicos voláteis. As adequações no sistema de taxiamento do aeroporto podem contribuir significativamente na redução de emissão de tais poluentes atmosféricos no Aeroporto Afonso Pena.

Os equipamentos de suporte em solo são importantes fontes de material particulado. A implantação de um sistema de fornecimento de energia elétrica e ar condicionado nas pontes de embarque, com consequente cessação do uso de GPUs e ACUs, resultaria em uma redução significativa desse poluente.

A implantação das medidas propostas no presente estudo (fornecimento de energia elétrica e ar condicionado às aeronaves nas pontes de embarque e implantação das pistas de taxiamento J e K) resultaria em uma redução total de

aproximadamente 23% de material particulado, 10% de monóxido de carbono e compostos orgânicos voláteis, bem como 6% dos óxidos de nitrogênio.

As propostas apresentadas representam uma redução significativa dos principais poluentes, ambas tendo como fundamento a diminuição na queima de combustível, seja das aeronaves ou dos equipamentos de suporte em solo. Além da redução dos poluentes atmosféricos, as propostas proporcionam outros benefícios associados, tais como a diminuição no consumo de recursos naturais, ganhos econômicos, amenização de ruído ocupacional, melhoria operacional no fluxo de aeronaves e no atendimento à sociedade.

Além das medidas propostas no presente trabalho, outras ações podem ser tomadas em conjunto que podem também colaborar com a redução de emissão de poluentes atmosféricos no aeroporto. A utilização de combustíveis alternativos, renovação de frota de veículos, melhorias de infraestrutura, educação ambiental e manutenção periódica em equipamentos são exemplos que podem ser estudados.

Outras fontes de emissão nos aeroportos, tais como o armazenamento de combustível, geradores de energia elétrica e automóveis nas vias e estacionamento também são consideradas significativas para a qualidade do ar local e seus estudos também são importantes ferramentas de redução.

O desenvolvimento de tecnologias associadas ao setor também é uma importante ferramenta para a gestão da poluição. Melhor eficiência de motores de aeronaves, desenvolvimento de combustíveis mais limpos e sistemas de coordenação de tráfego em solo podem contribuir na redução das emissões. Medidas tecnológicas também são aplicáveis para a redução de emissões relacionadas aos GSEs, como combustíveis alternativos e equipamentos mais eficientes.

As medidas regulatórias, tais como apresentadas pela OACI (2011) podem contribuir, como, por exemplo, uma taxaçaõ diferenciada para aeronaves mais poluentes, dependendo assim de regulamentação pelo Governo Federal e órgãos de controle.

A implantação de medidas, controle e melhoria contínua das ações voltadas à redução das emissões necessita que o programa de gerenciamento de poluição atmosférica do aeroporto seja bem definido, com ações, prazos, custos,

responsáveis e monitoramento. Considerando que aeroportos são empreendimentos complexos, com vários órgãos e empresas envolvidas em sua operação, é necessário que todas as partes estejam engajadas na gestão da poluição atmosférica.

No Brasil não há a obrigação legal de aeroportos realizarem inventários de emissões e tampouco de adotar práticas de redução das emissões. Contudo, tais requisitos podem ser inseridos em processos de licenciamento ambiental e aplicados como medidas de mitigação de impactos.

A realização e aprofundamento de estudos relacionados ao tema no Brasil contribuem para embasar a normatização, conforme outros tipos de atividades, para os quais existem valores limites de emissão e exigências de medidas de redução, a fim de mitigar possíveis impactos de aeroportos existentes e melhorar o planejamento de novos empreendimentos.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (ANAC). Resolução 238 de 12 de junho de 2012. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, n. 122, p. 20, 26 jun. 2012. Seção 1.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (ANAC). Resolução 269 de 18 de março de 2013. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, p. 4, 22 mar. 2013. Seção 1.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (ANAC). **Anuário do Transporte Aéreo 2013**. 1.ed. Brasília: ANAC, 2014a.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (ANAC). **Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas da Aviação Civil**. Brasília: ANAC, 2014b.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (ANAC). **Aeródromos**. Disponível em: <http://www.anac.gov.br/Area.aspx?ttCD_CHAVE=8> Acesso em: 05/01/2016.

AIRCRAFT ENGINEERING. New Stockholm Airport will have Fixed 400Hz Ground Power System. **Aircraft Eng & Aerospace Tech**, v. 47, n. 8, p.25-29, ago. 1975. Emerald. DOI: 10.1108/eb035269.

AIRPORT COOPERATIVE RESEARCH Program (ACRP). **Report 78 Airport Administration Ground Support Equipment (GSE): Emission Reduction Strategies, Inventory, and Tutorial**. Washington: ACRP, 2012.

AIRPORTS COUNCIL INTERNATIONAL (ACI). **Guidance manual: Airport greenhouse gas emissions management**. ACI, 2009.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (BNDES). **Efeito Estufa e a Convenção sobre a Mudança do Clima**. Assessoria Especial de Meio Ambiente e Ministério da Ciência e Tecnologia, 1999.

BÖHM, G.M; BRAGA, A. E.T; PEREIRA, L. A.; SALDIVA, P. **Poluição atmosférica e saúde humana**. São Paulo: Revista USP n. 51, 2001. P. 58 – 71.

BOTKIN, D. B.; KELLER, E. A. **Ciência Ambiental: Terra, um Planeta Vivo**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. G. L.; MIERZWA, J. C.; BARROS, M. T. L.; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. **Introdução à Engenharia Ambiental**. 2.ed. São Paulo: Prentice Hall, 2005.

BRASIL. Decreto n. 16.300, de 31 de dezembro de 1923. **Diário Oficial da União**, Rio de Janeiro, p. 3.199, 01 fev. 1924. Seção 1.

BRASIL. Lei n. 7.565, de 19 de dezembro de 1986. **Diário Oficial da União**, Brasília, 20 dez. 1986. Seção 1.

CARRA, T. A. **Metodologia para avaliação de desempenho ambiental em aeroportos e sua aplicação no Aeroporto Internacional de Viracopos, Campinas (SP)**. 136 f. Dissertação (Mestrado em Geologia Regional) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2011.

CASERINI, S.; MONGUZZI, A. M.; FRACCAROLI, A.; MORETTI, M.; ANGELINO, E. Emission inventory of airport activities in Lombardy (Italy): methodologies and results. **Chemical engineering transactions**, Milão, v. 16, p. 217-224, 2008.

CAVALCANTI, P. M. **Modelo de gestão da qualidade do ar: Abordagem preventiva e corretiva**. 252 f. Tese (Doutorado em Ciência em Planejamento Energético) - Programa de Pós-graduação em Planejamento Energético, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

CAVOTEC. **Ground Support Equipment**. Lugano, 2007. Catálogo.

COMEC. **Região Metropolitana de Curitiba**. Disponível em: <<http://www.comec.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=123>>. Acesso em: 10/02/2016.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Relatório de qualidade do ar no Estado de São Paulo 2010**. São Paulo: CETESB, 2011.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução nº 18 de 6 de maio de 1986; alterada pelas Resoluções nº 15, de 1995, nº 315, de 2002, e nº 414, de 2009; complementada pelas Resoluções nº 08, de 1993, e nº 282, de 2001. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, p. 8792-8795, 17 jun. 1986. Seção 1.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução nº 5 de 15 de junho de 1989; complementada pelas Resoluções nº 03, de 1990, nº 08, de 1990, e nº 436, de 2011. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, p. 14713-14714, 25 ago. 1989. Seção 1.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução nº 3 de 28 de junho de 1990; complementada pela Resolução nº 08, de 1990. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, p. 15937-15939, 22 ago. 1990a. Seção 1.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução nº 8 de 6 de dezembro de 1990; Complementa a Resolução nº 03, de 1990. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, p. 25539, 28 dez. 1990b. Seção 1.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução nº 382 de 26 de dezembro de 2006. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, n. 1, p. 131-137, 02 jan. 2007. Seção 1.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução nº 436 de 22 de dezembro de 2011. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, n. 247, p. 304-311, 26 dez. 2011. Seção 1.

COSTA, L. G.; DAMASCENO, M. V.; SANTOS, R. S. A Conferência de Estocolmo e o pensamento ambientalista: Como tudo começou. **Âmbito Jurídico**, Rio Grande, v. 15, n. 105, outubro de 2012. Disponível em: <http://www.ambito-juridico.com.br/site/?n_link=revista_artigos_leitura&artigo_id=12292>. Acesso em: 30/08/2015.

DENVER'S DEPARTMENT OF AVIATION. **About DEN**. Disponível em: <<http://www.flydenver.com/about>>. Acesso em 10/04/2016.

EMPRESA BRASILEIRA DE INFRAESTRUTURA AEROPORTUÁRIA (INFRAERO). **Projeto das pistas de taxiamento K e J**. INFRAERO, 2008.

EMPRESA BRASILEIRA DE INFRAESTRUTURA AEROPORTUÁRIA (INFRAERO). **Estatísticas**. Disponível em: <<http://www.infraero.gov.br/index.php/br/estatisticas-dos-aeroportos.html>>. Acesso em 18/01/2016a.

EMPRESA BRASILEIRA DE INFRAESTRUTURA AEROPORTUÁRIA (INFRAERO). **Aeroporto Afonso Pena**. Disponível em: <

<http://www.infraero.gov.br/index.php/br/aeroportos/parana/aeroporto-afonso-pena.html> >. Acesso em 18/01/2016b.

EMPRESA BRASILEIRA DE INFRAESTRUTURA AEROPORTUÁRIA (INFRAERO). **A Infraero**. Disponível em: <<http://www.infraero.gov.br/index.php/br/institucional/a-infraero.html>>. Acesso em 18/01/2016c.

EMPRESA BRASILEIRA DE INFRAESTRUTURA AEROPORTUÁRIA (INFRAERO). **Programa emissões**. Disponível em: <<http://www.infraero.gov.br/index.php/br/meio-ambiente/programa-emissoes.html>>. Acesso em 18/01/2016d.

EMPRESA BRASILEIRA DE INFRAESTRUTURA AEROPORTUÁRIA (INFRAERO). **Sistema de movimentação de aeronaves no pátio**. São José dos Pinhais: INFRAERO, 2016e.

ENVIRONMENTAL PROTECTION DEPARTMENT. **2013 Hong Kong emission inventory report**. Disponível em: <http://www.epd.gov.hk/epd/sites/default/files/epd/2013EIReport_eng_1b.pdf>. Acesso em: 10/02/2016.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (EEA). **Emission Inventory Guidebook 2013**. Luxemburg: Publications Office of the European Union, 2013.

EUROPEAN MONITORING AND EVALUATION PROGRAMME (EMEP).. <Disponível em: <http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2013>>. Acesso em 10/04/2016.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION (FAA). **Emissions and Dispersion Modeling System (EDMS): User's Manual**. Washington: CSSI Inc, 2013.

FORÇA AÉREA BRASILEIRA (FAB). **100 anos do Campo dos Afonsos**. Disponível em: <<http://fab.mil.br/noticias/mostra/18661/FAB-TV---Embarque-numa-viagem-pelos-100-Anos-do-Campo-dos-Afonsos>>. Acesso em: 04/01/2016.

GOOGLE. Google Earth. Versão 2016. **Aeroporto Afonso Pena**. Disponível em: <<https://www.google.com/intl/pt-BR/earth/download/ge/agree.html>>. Acesso em: 04/01/2016.

GRAUER, A. **Inventário estadual de emissões atmosféricas de poluentes (MP, CO, NOx, SOx) e proposta para revisão e ampliação da rede de monitoramento da qualidade do ar do Estado do Paraná.** Curitiba: IAP, 2013.

HONG KONG AIRPORT. **The need of expand.** Disponível em: <http://www.hongkongairport.com/eng/future/an-engine-for-growth/the_need_to_expand.html>. Acesso em: 10/02/2016.

INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ (IAP). **Relatório da Qualidade do Ar na Região Metropolitana de Curitiba - Ano 2013.** Disponível em: <http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/Relatorios_qualidade_do_ar/RELATORIO_AR_2013_final.pdf>. Acesso em: 04/09/2015.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Guidelines for national greenhouse gas inventories.** Hayama: IGES, 2006.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories.** IPCC: Montreal, 2000.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change 2014: Synthesis Report.** Genebra: IPCC, 2014.

KESGIN, U. Aircraft emissions at Turkish airports. *Energy*, [s.l.], v. 31, n. 2-3, p.372-384, fev. 2006. **Elsevier** BV. DOI: 10.1016/j.energy.2005.01.012. Disponível em: <<http://api.elsevier.com/content/article/PII:S0360544205000149?httpAccept=text/xml>>. Acesso em: 27 jan. 2016.

MASIOL, M.; HARRISON, R. M. Aircraft engine exhaust emissions and other airport-related contributions to ambient air pollution: A review. **Atmospheric Environment**, n. 95, p.409-455, 2014.

MIRAGLIA, S. G.; GOUVEIA, N. Custos da poluição atmosférica nas regiões metropolitanas brasileiras. **Ciênc. Saúde Coletiva**, v. 19, n. 10, p.4141-4147, 2014.

ORGANIZAÇÃO DA AVIAÇÃO CIVIL INTERNACIONAL (OACI). **Annex 14 to the Convention on International Civil Aviation: Aerodromes.** 4. ed. Montreal: OACI, 2004.

ORGANIZAÇÃO DA AVIAÇÃO CIVIL INTERNACIONAL (OACI). **Airport air quality manual**. 1. ed. Montreal: OACI, 2011.

ORGANIZAÇÃO DA AVIAÇÃO CIVIL INTERNACIONAL (OACI). **Convention on international civil aviation done at Chicago on the 7th day of December 1944**. Disponível em: <http://www.icao.int/publications/Documents/7300_orig.pdf>. Acesso em: 05/01/2016.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS). **Facts**. Disponível em: <<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/en/>>. Acesso em 18/03/2016

PARANÁ. Lei n. 13.806, de 31 de setembro de 2002. **Diário Oficial do Estado do Paraná**, Curitiba, n. 6.327, 01 out. 2002.

PATTERSON, R. E.; RAYMAN, R. B. Aerospace air pollution issues. **Otolaryngology – Head and Neck Surgery**, Alexandria, v. 114, n. 2, p.277-280, 1996.

PEREIRA, A. **Breve história da aviação comercial brasileira**. 1. Ed. Rio de Janeiro: Europa Empresa Gráfica e Editora, 1987.

PHAM, V. V. *et al.* Aviation emission inventory development and analysis. **Environmental Modelling & Software**, [s.l.], v. 25, n. 12, p.1738-1753, dez. 2010. Elsevier BV. DOI: 10.1016/j.envsoft.2010.04.004. Disponível em: <<http://api.elsevier.com/content/article/PII:S1364815210000964?httpAccept=text/xml>>. Acesso em: 10 fev. 2016.

RICONDO & ASSOCIATES. **Airport emissions inventory**: Denver International Airport. Denver: Ricondo & Associates, 2005.

RISSMAN, J. *et al.* Equity and health impacts of aircraft emissions at the Hartsfield-Jackson Atlanta International Airport. **Landscape And Urban Planning**. v. 120, p.234-247, dez. 2013. Elsevier BV. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2013.07.010. Disponível em: <<http://api.elsevier.com/content/article/PII:S0169204613001382?httpAccept=text/xml>>. Acesso em: 10 fev. 2016.

ROCCO JR., J. **Efeitos da poluição atmosférica na área do Aeroporto Internacional de São Paulo – Guarulhos sobre ensaio de bioindicadores vegetais**. 2008. 96 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo, São Paulo.

ROCHA, T. M. **Aquecimento Global e o Mercado de Carbono**: Uma Aplicação do Modelo Cert. 214 f. Tese (Doutorado Ciências, Área de Concentração: Economia Aplicada) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

ROZENDAHL, K. E. **Social costs of air pollution and fossil fuel use**: A macroeconomic approach. Oslo: Statistics Norway, 1998.

SANTOS, R. R. **Aeroportos**: do campo de aviação à área terminal. São Paulo: Contar, 1985.

SECRETARIA DA AVIAÇÃO CIVIL (SAC). **Aeroportos**. Disponível em: <<http://www.aviacao.gov.br/assuntos/aeroportos>>. Acesso em: 01/02/2016.

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS DO PARANÁ (SEMA). Resolução nº 16 de 26 de março de 2014. **Diário Oficial do Estado do Paraná**, Curitiba, n. 9.187, p. 48-100, 15 abr. 2014.

SENCO, C. H. Sources of air pollution. In: HOLGATE, S. T.; KOREN, H. S.; SAMET, J. M.; MAYNARD, R. L. **Air pollution and health**, Londres: Academic Press, 1999. p. 115-148.

SPRACKLEN, D. V. Global warming: China's contribution to climate change. **Nature**, [s.l.], v. 531, n. 7594, p.310-312, 16 mar. 2016.

UNAL, A. *et al.* Airport related emissions and impacts on air quality: Application to the Atlanta International Airport. **Atmospheric Environment**, [s.l.], v. 39, n. 32, p.5787-5798, out. 2005. Elsevier BV. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2005.05.051. Disponível em: <<http://api.elsevier.com/content/article/PII:S1352231005004838?httpAccept=text/xml>> . Acesso em: 09 fev. 2016.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). **AP 42 Compilation of air pollutant emission factors**. 5. ed. Washington: USEPA, 1995. 1 v.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). **Handbook for criteria pollutant inventory development**: A beginner's guide for point and area sources. Washington: USEPA, 1999a.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). **Handbook for criteria pollutant inventory development:** A beginner's guide for point and area sources. Washington: USEPA, 1999b.

VALLERO, D. A. **Fundamentals of air pollution.** 4.ed. Durham: Elsevier, 2008.

YIM, S.H.I.; STETTLER, M. E.; BARRETT, S. R. Air quality and public health impacts of UK airports. Part II: Impacts and policy assessment. **Atmospheric Environment**, [s.l.], v. 67, p.184-192, mar. 2013. Elsevier BV. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2012.10.017. Disponível em: <<http://api.elsevier.com/content/article/PII:S1352231012009818?httpAccept=text/xml>>. Acesso em: 10 fev. 2016.

YU, K. N.; CHEUNG, Y. P.; CHEUNG, T.; HENRY, R. C. Identifying the impact of large urban airports on local air quality by nonparametric regression. **Atmospheric Environment**, v. 38, n. 27, p.4501-4507, set. 2004. Elsevier BV. Disponível em: <<http://api.elsevier.com/content/article/PII:S1352231004005229?httpAccept=text/xml>>. Acesso em: 22/08/2015.

ZURICH AIRPORT. **Air quality.** Disponível em: <<http://www.zurich-airport.com/the-company/noise-policy-and-the-environment/air-quality>>. Acesso em: 20/01/2016a.

ZURICH AIRPORT. **Facts and figures 2008.** Disponível em: < <http://www.zurich-airport.com/the-company/zurich-airport-ag/facts-and-figures/>>. Acesso em: 20/01/2016b.

APÊNDICE

APÊNDICE 1 – LISTA DE MOVIMENTOS POR MODELOS DE AERONAVES NO AEROPORTO AFONSO PENA

TABELA 34 – LISTA DE AERONAVES NO AEROPORTO AFONSO PENA EM 2015

Modelo	LTO	Porcentagem
E190	10525	27,002%
A320	8703	22,328%
B738	8580	22,012%
B737	3585	9,197%
AT72	2463	6,319%
A319	1428	3,664%
B763	464	1,190%
B722	254	0,652%
LJ40	165	0,423%
BE40	154	0,395%
LJ45	132	0,339%
BE9L	131	0,336%
A321	130	0,334%
B407	122	0,313%
E50P	115	0,295%
B744	104	0,267%
A332	95	0,244%
E110	95	0,244%
E55P	92	0,236%
C208	83	0,213%
MD11	81	0,208%
PA34	78	0,200%
C680	73	0,187%
LJ60	70	0,180%
B772	68	0,174%
C56X	63	0,162%
C25A	56	0,144%
A318	53	0,136%
B350	53	0,136%
H25B	51	0,131%
BE20	50	0,128%
E145	45	0,115%
PC12	42	0,108%
B429	40	0,103%
E120	36	0,092%
G280	32	0,082%
C25B	30	0,077%
C525	28	0,072%
E135	26	0,067%

TABELA 34 – LISTA DE AERONAVES NO AEROPORTO AFONSO PENA EM 2015 – CONTINUAÇÃO

Modelo	LTO	Porcentagem
EC30	25	0,064%
BE58	24	0,062%
C182	24	0,062%
EC20	24	0,062%
PAY3	23	0,059%
RH44	23	0,059%
C510	22	0,056%
AS50	21	0,054%
LJ35	20	0,051%
R44	20	0,051%
SR22	18	0,046%
G150	16	0,041%
A109	15	0,038%
C550	15	0,038%
F2TH	14	0,036%
LJ31	14	0,036%
GLF5	13	0,033%
B06	11	0,028%
B734	11	0,028%
C750	11	0,028%
C650	9	0,023%
AC80	8	0,021%
AS65	8	0,021%
BH06	8	0,021%
EC25	7	0,018%
GLF4	7	0,018%
CL30	6	0,015%
FA7X	6	0,015%
GALX	6	0,015%
GLEX	6	0,015%
MU2	6	0,015%
PAT4	6	0,015%
PRM1	6	0,015%
C560	5	0,013%
CL60	5	0,013%
P28A	5	0,013%
P46T	5	0,013%
PAY2	5	0,013%
B762	4	0,010%
BE9T	4	0,010%

TABELA 34 – LISTA DE AERONAVES NO AEROPORTO AFONSO PENA EM 2015 – CONTINUAÇÃO

Modelo	LTO	Porcentagem
C25C	4	0,010%
F900	4	0,010%
PA31	4	0,010%
PAY1	4	0,010%
R22	4	0,010%
A30B	3	0,008%
AS32	3	0,008%
ASTR	3	0,008%
BE33	3	0,008%
C295	3	0,008%
EA50	3	0,008%
FA50	3	0,008%
P28T	3	0,008%
PA46	3	0,008%
TBM7	3	0,008%
WW24	3	0,008%
AB11	2	0,005%
B412	2	0,005%
BE55	2	0,005%
C130	2	0,005%
C152	2	0,005%
F50	2	0,005%
HS25	2	0,005%
LJ25	2	0,005%
P28R	2	0,005%
R66	2	0,005%
A29B	1	0,003%
AC90	1	0,003%
AS	1	0,003%
AS55	1	0,003%
BE	1	0,003%
BE30	1	0,003%
BE36	1	0,003%
BE90	1	0,003%
C500	1	0,003%
E170	1	0,003%
E550	1	0,003%
FA10	1	0,003%
G5	1	0,003%
GL5T	1	0,003%

TABELA 34 – LISTA DE AERONAVES NO AEROPORTO AFONSO PENA EM 2015 – CONTINUAÇÃO

Modelo	LTO	Porcentagem
H125	1	0,003%
HA4T	1	0,003%
L410	1	0,003%
LJ55	1	0,003%
LR31	1	0,003%
P28B	1	0,003%
PA30	1	0,003%
R99A	1	0,003%
R99B	1	0,003%
SS2P	1	0,003%